



**BİR PATLAYICI MADDE ÜRETİM TESİSİNDEKİ RİSK
FAKTÖRLERİNİN BELİRLENMESİ VE PATLAMA RİSKİNE
YÖNELİK ETKİ ANALİZİ**

Abdurrahman AKMAN

**DOKTORA TEZİ
KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRMASI ANABİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

HAZİRAN 2015

Abdurrahman AKMAN tarafından hazırlanan “BİR PATLAYICI MADDE ÜRETİM TESİSİNDEKİ RİSK FAKTÖRLERİNİN BELİRLENMESİ VE PATLAMA RİSKİNE YÖNELİK ETKİ ANALİZİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Anabilim Dalında DOKTORA TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Mustafa Necmi İLHAN
Halk Sağlığı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu Onaylıyorum

.....

Başkan : Prof. Dr. Metin GÜRÜ
Kimya Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu Onaylıyorum

.....

Üye : Prof. Dr. Ayşe MURATHAN
Kimya Mühendisliği, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu Onaylıyorum

.....

Üye : Prof. Dr. Zeynep Aytül ÇAKMAK
Halk Sağlığı, Ankara Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu Onaylıyorum

.....

Üye : Prof. Dr. Meral SAYGUN
Halk Sağlığı, Kırıkkale Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Doktora Tezi olduğunu Onaylıyorum

.....

Tez Savunma Tarihi: 11/06/2015

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin Doktora Tezi olması için gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

.....

Prof. Dr. Şeref SAĞIROĞLU
Fen Bilimleri Enstitüsü

ETİK BEYAN

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

- Tez içinde sunduğum verileri, bilgileri ve dokümanları akademik ve etik kurallar çerçevesinde elde ettiğimi,
- Tüm bilgi, belge, değerlendirme ve sonuçları bilimsel etik ve ahlak kurallarına uygun olarak sunduğumu,
- Tez çalışmada yararlandığım eserlerin tümüne uygun atıfta bulunarak kaynak gösterdiğimi,
- Kullanılan verilerde herhangi bir değişiklik yapmadığımı,
- Bu tezde sunduğum çalışmanın özgün olduğunu,

bildirir, aksi bir durumda aleyhime doğabilecek tüm hak kayıplarını kabullendiğimi beyan ederim.

Abdurrahman AKMAN

11/06/2015

BİR PATLAYICI MADDE ÜRETİM TESİSİNDEKİ RİSK FAKTÖRLERİNİN BELİRLENMESİ VE PATLAMA RİSKİNE YÖNELİK ETKİ ANALİZİ

(Doktora Tezi)

Abdurrahman AKMAN

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Haziran 2015

ÖZET

İş kazaları ile meslek hastalıklarını önlemek veya azaltmak, işyerlerindeki sağlık ve güvenlik standartlarını arttırmak amacıyla, bilimsel araştırmalara dayalı güvenlik önlemlerinin belirlenmesi ve uygulanması doğrultusundaki çalışmalar olarak tanımlanan iş sağlığı ve güvenliği, endüstrinin vazgeçilemez unsurlarındandır. İşyerlerindeki çalışanların iş kazaları ve meslek hastalıklarından korunması ile daha sağlıklı ortamlarda çalışmalarının temini ancak iş sağlığı ve güvenliğine yönelik sistemli çalışmalar yapılarak sağlanabilir. Çalışma ortam ve şartlarından kaynaklanan iş kazalarını önlemek veya azaltmak için izlenecek en iyi bilimsel esaslı çalışma ise risk değerlendirmesidir. Bu tezin amacı bir patlayıcı madde üretim tesisindeki risk faktörlerini tespit etmek, tespit edilen bu riskleri farklı iki metotla derecelendirerek karşılaştırmak ve patlama etkisine yönelik etki analizi yapılabilmesi için bir bilgisayar programı geliştirmektir. Bu amaçla HTEA metodu kullanılarak tesis genelinde 206 risk tespit edilmiştir. Tespit edilen risklerin 85'i kabul edilemez, 101'i önlem alınabilir ve 20'si ise önlem almaya gerek olmayan risktir. Bu risklerin yaklaşık yarısı yangın ve patlamaya neden olabilecek riskler olup, en yüksek RÖS değerli risk “uzun süre depolanacak barutlarda stabilite testlerinin yapılmaması” olarak tespit edilmiştir. Tespit edilen risklerin sayısallaştırılması aşamasında ortaya çıkan belirsizliklerin giderilmesi amacıyla risk analizi aracı olarak birde bulanık mantık yaklaşımından yararlanılmıştır. Her iki yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanmış ve aralarında %80 oranında uyum olduğu anlaşılmıştır. Son olarak her iki metotta da en yüksek risk olan patlama riskine yönelik etki analizi yapılabilmesi için PAREA adı verilen yeni bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

Bilim Kodu : 201.2.069

Anahtar Kelimeler : Patlayıcı madde, patlayıcı ortam, risk değerlendirmesi, bulanık mantık, patlama etkisi analizi

Sayfa Adedi : 156

Danışman : Prof. Dr. Mustafa Necmi İLHAN

DETERMINATION OF RISK FACTORS IN A EXPLOSIVE MANUFACTURING
FACILITY AND ANALYZING THE IMPACTS INTENDED FOR EXPLOSION RISK

(Ph. D. Thesis)

Abdurrahman AKMAN

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

Haziran 2015

ABSTRACT

In order to prevent or to reduce occupational diseases and accident at work and to improve health and safety standards in the workplace, occupational safety and health, which is expressed as the determination and implementation of the safety precautions in line with the scientific research is one of the indispensable elements of the industry. Providing protection from occupational accidents and occupational diseases in workplaces and making the working environment healthier can only be achieved by systematic studies on occupational health and safety. Risk assessment is the best scientific based study which can be followed for reducing or eliminating the occupational accidents caused by unsuitable working environment and conditions. The aim of this thesis is to identify risks in an explosives manufacturing plant, rate and compare determined risks with two different methods and develop a computer program to perform impact analysis for the blast effect. For this purpose, 206 risks are determined by using FMEA method across the facility. 85 of these risks are unacceptable. For 101 risks, measures can be taken and for 20 risks, measures do not need to be taken. Approximately half of these risks are the risks that could lead to fires and explosions. The risk which has the highest RPN value is found as "of making long-term stability tests of the long term stored powder". During the numeration process of the determined risks; fuzzy logic approach has been used as a risk assessment tool in order to eliminate emerging uncertainties. Both methods were interpreted by comparing the obtained results and it is found out that 80% adaptation exists between two methods. Finally, new computer software called as PAREA have been developed, which can implement an impact analysis for the highest risk of explosion risk.

Science Code : 201.2.069
Key Words : Explosives, explosive atmosphere, risk assessment, fuzzy logic,
explosion impact analysis
Page Number : 156
Supervisor : Prof. Dr. Mustafa Necmi İLHAN

TEŞEKKÜR

Bilgisine ve desteğine her zaman başvurduğum daima yardımcı olan Tez Danışmanım Sayın Prof. Dr. Mustafa Mecmi İLHAN'a çok teşekkür ediyorum.

Bu tez çalışmasının ortaya çıkmasındaki yönlendirmeleri ve katkılarından dolayı Prof. Dr. Metin GÜRÜ ile Prof. Dr. Ayşe MURATHAN'a teşekkür ediyorum.

Hayatımın her aşamasında beni destekleyen maddi ve manevi varlıklarını hep yanımda hissettiğim sevgili anneme ve yaşasaydı benimle gurur duyacağına inandığım merhum babama şükranlarımı sunuyorum.

Bu tez çalışmamda yardımını, bilgisini ve desteğini esirgemeyen İş Müfettişi Faruk SEVEN, İş Müfettişi Emrah KORKMAZ, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı Deniz YILMAZ, İş Müfettişi Dr. Mesut Cemil İŞLER ve İş Müfettişi C. Can AYANOĞLU'na teşekkürlerimi sunuyorum.

Beni cesaretlendiren, destekleyen, hep yanımda ve yardımcı olan biricik eşime ve kızıma çok teşekkür ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xi
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiii
1. GİRİŞ	1
2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR	5
2.1. Tehlike, Risk ve Bununla İlişkili Diğer Kavramlar	5
2.1.1. Tehlike	5
2.1.2. Risk	5
2.1.3. Kabul edilebilir risk seviyesi	8
2.1.4. Risk analizi	10
2.1.5. Risk değerlendirmesi	12
2.1.6. Risk yönetimi	13
2.2. Hata Türleri ve Etkileri Analizi	15
2.2.1. HTEA yönteminin geçmişi	17
2.2.2. HTEA tekniğine ilişkin literatür araştırması	18
2.2.3. Hata türü ve etkileri analizinin türleri	20
2.2.4. HTEA yönteminin öğeleri	20
2.3. Hata Türleri ve Etkileri Analizinde Bulanık Mantık Kullanılması	23
2.3.1. Bulanık mantığın tarihsel gelişimi	25
2.3.2. Bulanık kümeler	26

	Sayfa
2.3.3. Bulanık sistem	29
2.3.4. Patlama	36
2.3.5. Patlayıcı madde	40
2.3.6. Patlayıcı ortam	43
2.4. Patlama Riskinin Değerlendirilmesine Yönelik Mevzuat	49
2.4.1. Çalışanların patlayıcı ortamların tehlikelerinden korunması hakkında yönetmelik-Patlamadan korunma dokümanı	49
2.4.2. Büyük endüstriyel kazaların kontrolü hakkında yönetmelik-Güvenlik raporu	49
2.5. Patlama Riskinin Analiz Edilmesine Yönelik Literatür Taraması	50
2.6. Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi	52
2.6.1. Boşalma hızının tayini	53
2.6.2. Evaporasyon hızının tayini	56
2.6.3. Patlama enerjisinin TNT eşdeğeri metodu ile hesaplanması	58
2.6.4. Sıcaklığa bağlı değişen özelliklerin hesaplanması	66
3. METOT	69
3.1. Uygulama Yapılan Tesisin Tanıtımı	69
3.2. HTEA Çalışması	74
3.2.1. Hazırlık çalışmaları	75
3.2.2. Tehlike kaynaklarının tespit edilmesi	75
3.2.3. Olası hata etkilerinin, nedenlerinin ve mevcut kontrollerin belirlenmesi .	76
3.2.4. RÖS değerlerinin hesaplanması	76
3.2.5. Risklerin derecelendirilmesi ve alınması gerekli önlemlerin kararlaştırılması	76
3.2.6. Yapılan çalışmaların dokümante edilmesi	77
3.3. Bulanık Mantık İle Risk Analizi	77

Sayfa

3.4. Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi Bilgisayar Programı	82
4. BULGULAR VE YORUM	91
4.1. HTEA Metodu İle Tespit Edilen Risk Faktörlerinin ve Risk Öncelik Sayılarının Değerlendirilmesi	91
4.1.1. Nitroselüloz atölyesi	91
4.1.2. Küresel barut atölyesi	94
4.1.3. Nitroselüloz atölyesi ile küresel barut atölyesinin birlikte değerlendirilmesi	96
4.2. HTEA Metodu ve Bulanık Mantıkla Hesaplanan RÖS Değerlerinin Karşılaştırılması	102
4.3. Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi (PAREA) Bilgisayar Programının Değerlendirilmesi	104
5. SONUÇ VE ÖNERİLER	109
KAYNAKLAR	119
EKLER.....	129
EK-1. HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu	130
EK-2. Patlama senaryosu algoritmaları	154
ÖZGEÇMİŞ	156

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Hatanın ortaya çıkma sıklığı, olasılığı ve derecesi	21
Çizelge 2.2. Hatanın neden olacağı şiddetin etkisi ve derecesi	22
Çizelge 2.3. Saptanabilirlik (tespit edilebilirlik) ve derecesi	22
Çizelge 2.4. Risk öncelik sayısına göre alınması gerekli önlemler	22
Çizelge 2.5. Bulanık mantığın kullanıldığı bazı uygulama örnekleri	26
Çizelge 2.6. Dünyada patlama şeklinde meydana gelen bazı kazalar	34
Çizelge 2.7. Ülkemizde patlama şeklinde meydana gelen bazı kazalar	34
Çizelge 2.8. 2013-2014 yıllarında ülkemizde patlama şeklinde meydana gelen bazı kazalar	35
Çizelge 2.9. Bazı patlayıcı maddelerin TNT Eşdeğerlikleri	43
Çizelge 2.10. Yüksek basıncın yapılar üzerindeki etkisi	63
Çizelge 2.11. Yüksek basıncın insanlar üzerindeki etkisi	64
Çizelge 2.12. Bazı ülkelerde dikkate alınan yüksek basınç değerleri.....	65
Çizelge 3.1. Kural tabanı	80
Çizelge 4.1. Nitroselüloz atölyesinde tespit edilen risklerin bölümlere ve kabul edilebilirlik kriterine göre sınıflandırılması	91
Çizelge 4.2. Nitroselüloz atölyesindeki her bir bölüm için tespit edilen en yüksek RÖS değerleri ve alınması gereken tedbirler	92
Çizelge 4.3. Küresel barut atölyesinde tespit edilen risklerin bölümlere ve kabul edilebilirlik kriterine göre sınıflandırılması	94
Çizelge 4.4. Küresel barut atölyesindeki her bir bölüm için tespit edilen en yüksek RÖS değerleri ve alınması gereken tedbirler	95
Çizelge 4.5. Tesis genelinde tespit edilen risklerin kabul edilebilirlik kriterine göre sınıflandırılması	96
Çizelge 4.6. Tesis genelinde tespit edilen en yüksek RÖS değerli riskler ve alınması gerekli tedbirler	97

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Kabul edilebilir risk seviyesi	10
Şekil 2.2. Riskin anlaşılması ve risk analizinin esası	11
Şekil 2.3. Risk analizi sürecinin adımları	12
Şekil 2.4. Risk yönetim sistemindeki unsurların şematik gösterimi	14
Şekil 2.5. Risk değerlendirme ve risk yönetimi yaklaşımı	15
Şekil 2.6. Risk yönetimi içerisinde yer alan kavramların birbirleriyle olan ilişkisi	15
Şekil 2.7. HTEA metodu ile yapılmış örnek bir çalışma	23
Şekil 2.8. Klasik ve bulanık küme yaklaşımları	28
Şekil 2.9. Bulanık küme yaklaşımında yaş kavramının sözel değişkenleri	29
Şekil 2.10. Klasik sistem bileşenleri	29
Şekil 2.11. Bulanık sistem bileşenleri	29
Şekil 2.12. Mamdani bulanık çıkarım yönteminin gösterimi	33
Şekil 2.13. Bazı patlama tipleri	37
Şekil 2.14. Deflagrasyon ve detonasyon süreci	38
Şekil 2.15. Bir deflagrasyon deneyine ait fotoğraflar	39
Şekil 2.16. Bir detonasyon deneyine ait fotoğraf	39
Şekil 2.17. Patlayıcı maddelerin sınıflandırılması	42
Şekil 2.18. 100 büyük kazanın kaza çeşidine göre maliyet yüzdesi	44
Şekil 2.19. Avrupa’da meydana gelen önemli endüstriyel kazaların sebeplerine göre dağılımı 1980-2002	44
Şekil 2.20. Patlama üçgeni	45
Şekil 2.21. Sabit bir yerdeki şok dalgası basıncı	47
Şekil 2.22. Buhar bulutu patlamasında bulunması gerekli koşullar	48
Şekil 2.23. Depolama tankından sıvı sızıntısı	56

Şekil	Sayfa
Şekil 2.24. Sıvının kaynama noktasına bağlı olarak iki yaygın sızıntı durumu	57
Şekil 2.25. Hopkinson ölçekli uzaklık grafiği	63
Şekil 2.26. Yüksek basınç nedeniyle oluşan şok dalgasının oluşturacağı etkiler	65
Şekil 3.1. Nitrolama ünitesinde gerçekleşen nitrasyon reaksiyonları	71
Şekil 3.2. MATLAB paket programında Bulanık modelleme sistemi	77
Şekil 3.3. Bulanık HTEA modeli	78
Şekil 3.4. Olasılık giriş kümesi	79
Şekil 3.5. Şiddet giriş kümesi	79
Şekil 3.6. Tespit edilebilirlik giriş kümesi	79
Şekil 3.7. Risk öncelik sayısı (RÖS) çıktı kümesi	80
Şekil 3.8. Girdi ve çıktı değişkenlerine bağlı olarak oluşturulan üç boyutlu yüzey	81
Şekil 3.9. PAREA programı kullanım şartları bilgilendirme penceresi	83
Şekil 3.10. Kimyasal madde veya patlayıcı madde seçimi penceresi	83
Şekil 3.11. Kimyasal madde ekleme penceresi	84
Şekil 3.12. Patlayıcı madde ekleme penceresi	84
Şekil 3.13. Senaryo seçimi penceresi	85
Şekil 3.14. Gaz sızıntısı senaryosu penceresi	85
Şekil 3.15. Sıvı sızıntısı senaryosu penceresi	86
Şekil 3.16. Patlayıcı madde senaryosu penceresi	86
Şekil 3.17. Sıvı sızıntısı senaryosuna ilişkin sonuç penceresi	88
Şekil 3.18. Patlayıcı madde senaryosuna ilişkin sonuç penceresi	89
Şekil 4.1. Nitroselüloz atölyesinde tespit edilen risklerin dağılımı	92
Şekil 4.2. Küresel barut atölyesinde tespit edilen risklerin dağılımı	94
Şekil 4.3. Tesis genelinde tespit edilen risklerin dağılımı	97

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Simgeler	Açıklama
A	Alan
C	Celcius
C_d	Boşalım Katsayısı
C_p	Sabit Basıncıdaki Isı Kapasitesi
F	Fahrenheit
F	Parlama Kesri
H_f	Patlayıcı Ortamdaki Maddenin Yanma Entalpisi
H_{TNT}	TNT'nin Patlama Enerjisi
J	Joule
K	Kelvin
kg	Kütle
L	Sıvının Gizli Buharlaşma Entalpisi
m	Metre
MA	Molekül Ağırlığı
P	Basınç
P_b	Buhar basıncı
P_c	Kritik Basınç
R	Üniversal Gaz Sabiti
Z	Patlama merkezine olan uzaklık
Ř	Hopkinson Ölçekli Uzaklık
s	Saniye
W_{TNT}	TNT Eşdeğer Kütlesi
α_e	Patlama Verimi
γ	Isı Kapasiteleri Oranı
ρ	Yoğunluk

Kısaltmalar	Açıklama
AIChE	Amerikan Kimya Mühendisleri Enstitüsü
ALARP	Makul Olan En Yüksek Önlem Seviyesi
AN	Amonyum Nitrat
ANFO	Amonyum Nitrat Fuel Oil
B RÖS	Bulanık Risk Öncelik Sayısı
BLEVE	Kaynayan Sıvı Genleşen Buhar Patlaması
DNT	Dinitro Toluen
FMEA	Failure Mode and Effect Analysis
HTEA	Hata Türleri ve Etkileri Analizi
IEC	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu
ISO	Uluslararası Standardizasyon Organizasyonu
LEL	Alt Patlama Limiti
LPG	Sıvılaştırılmış Petrol Gazı
MKE	Makine ve Kimya Endüstrisi Kurumu
NS	Nitroselüloz
O	Olasılık
PAREA	Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi
PETN	Pentaeritrol Tetranitrate
RDX	Siklotrimetilen Trinitramin
RÖS	Risk Öncelik Sayısı
S	Saptama
Ş	Şiddet
TE	Tespit Edilebilirlik
TNT	Trinitro Toluen
TSE	Türk Standartları Enstitüsü
TSK	Takagi Sugeno Kang
UEL	Üst Patlama Limiti
VCE	Buhar Bulutu Patlaması

1. GİRİŞ

İnsan, üretim sisteminin en önemli ve en temel unsurudur. İşyerlerinde iş kazalarını ve meslek hastalıklarını önlemek, sağlık ve güvenlik standartlarını üst seviyelere çıkarmak amacını taşıyan birçok önleyici teknik ve organizasyonel sistem bulunmasına rağmen, günümüzde hala iş kazaları ve meslek hastalıkları endüstriyel ilişkiler açısından en önemli sorun olarak yerini korumaktadır. İş kazaları ve meslek hastalıkları sebebiyle birçok çalışanın hayat standardı olumsuz bir şekilde etkilenmekte, benzer şekilde birçok çalışan geçici veya sürekli iş göremez hale gelmekte ya da hayatını kaybetmektedir. Bu kayıpların doğrudan çalışanın yaşamını ve hayat kalitesini olumsuz etkilemesinin yanı sıra, bütün toplumun yaşantısını da olumsuz etkilediği yadsınamaz bir gerçektir (Flayeh, 2009).

Sanayi devrimi ile başlayan endüstriyel gelişimin insan hayatına sağladığı kolaylıkların yanında, insan hayatı ve çevre için bazı olumsuz koşulların ortaya çıkmasına neden olmuştur. Dünya ekonomisindeki rekabetin getirdiği işin yürütüm şartları ile teknik ve organizasyonel koşullar çalışanları daha stresli, yorucu ve dolayısıyla daha riskli bir çalışma ortamıyla karşı karşıya bırakmıştır. Çalışanlar bu ortamlarda yakın ve hayati tehlikelerle karşılaşabilmektedir. Bu nedenledir ki günümüzde iş sağlığı güvenliği konusu giderek çok daha önemli hale gelmiştir.

Patlayıcı madde üretim sektörü, dünyada ve ülkemizde gerek kullanılan hammadde ve yardımcı maddeler, gerekse üretim yöntem ve şekillerinden kaynaklanan nedenlerden dolayı en riskli sektörlerden biridir. Özellikle piroteknik mamul madde üretim tesisleri başta olmak üzere, 2008 yılından bugüne kadar patlayıcı madde üretim tesislerinde meydana gelen patlama ve yangınlarda bir çok kişi yaralanmış hatta yaşamını kaybetmiş ve tesislerin bir kısmının kullanılamaz duruma gelmesi de dahil çok büyük çapta maddi hasarlar oluşmuştur. Patlayıcı madde üretilen tesislerde meydana gelen kazaların bazıları insan hatasından kaynaklanmaktayken, bazıları ise patlayıcı madde üretim proseslerindeki kontrol kayıplarından meydana gelen kazalardır. Söz konusu proses kontrol kayıpları sonucu oluşan kazalar, meydana gelme frekansları düşük olsa da etkileri itibarıyla gerek işyeri sınırlarında, gerekse bu sınırların ötesinde büyük sonuçlar doğurabilmektedir.

Patlayıcı madde üretim süreci başından sonuna kadar bir dizi karmaşık işlemlerin ve bazı kararsız kimyasalların yol açtığı kazalar nedeniyle yüksek ölüm oranı ile karakterizedir. Patlayıcı madde üretiminin doğasında var olan bu risklere rağmen işçiler ve işverenlerin muhtemel riskler konusunda eğitilmesi, bilgilendirilmesi yoluyla güvenlik bilincinin aşılması, tehlikelerin tanımlanması, risklerin belirlenmesi, tespit edilen risklere göre gerekli önlemlerin alınması, etkili bir güvenlik yönetimi ile bu riskleri bertaraf etmek, bertaraf edilemeyen riskleri kabul edilebilir seviyelere çekmek mümkündür.

İş sağlığı ve güvenliği çalışmalarında amaç, çalışan sağlığını ve güvenliğini sürdürebilir olarak koruma altına almaktır. İşyerinde bulunan iş ekipmanları ile çalışma ortam ve şartlarından kaynaklanan çeşitli tehlikeli durumlar, çalışanlar için riske dönüşmektedir. Patlayıcı madde üretim tesislerinde risk faktörlerinin belirlenebilmesi için öncelikli yapılması gereken, bu risklerin ortaya çıkmasına zemin oluşturan tehlikelerin tanımlanmasıdır. Zira riskleri başarılı bir şekilde kontrol etmek için tehlikeleri anlamak ve onları nasıl tanımlamak gerektiğini bilmek gerekir. Bu kapsamda ilk olarak neyin yanlış gidebileceğini bulmak, sonrasında ise bunu ortadan kaldırmak veya ortaya çıkma olasılığını azaltmak ve kontrol mekanizması kurmak gerekmektedir.

Çalışma ortamı gözle görünen veya görünmeyen tehlikelerle doludur. Bu tehlikelerden kaynaklanan riskleri tahmin etmek ve kabul edilemez olanları ortadan kaldırmak için izlenecek en iyi bilimsel esaslı çalışma risk değerlendirmesidir. İş sağlığı ve güvenliğine verilen önemin artması ile birlikte risk değerlendirmesi, dünyada ve ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının temelini oluşturmaya başlamıştır. Dünyada yaşanan gelişmelere paralel olarak ülkemizde de risk değerlendirmesinin önemi artmış, iş sağlığı ve güvenliği mevzuatında yapılan değişikliklerle risk değerlendirmesi zorunlu hale gelmiştir. Öyle ki 30.06.2012 tarihinde Resmi Gazetede yayımlanarak yürürlüğe giren İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununda "...tehlikeli kimyasallarla çalışılan işlerin yapıldığı veya büyük endüstriyel kazaların olabileceği işyerlerinde risk değerlendirmesi yapılmamış olması durumunda iş durdurulur" denilerek ilgili işyerlerinde risk değerlendirmesi yapılmamasını çalışanlar için hayati tehlike kabul ederek risk değerlendirmesinin önemine vurgu yapılmıştır.

İşyerinde olası tehlikeler ve bu tehlikeler gerçekleştiğinde ortaya çıkması muhtemel sonuçlar gerçekçi biçimde tespit edildiğinde, iş kazası ve meslek hastalıklarının önlenmesi

için alınması gerekli tedbirlerin ne olduğunun belirlenmesinin ve uygulanmasının o denli kolay olacağına şüphe yoktur.

İnsan sağlığına verilen önem, işyerlerinde çalışanların risklerle karşı karşıya kalmadan, başka bir ifadeyle çalışanlar zararlandırıcı bir eyleme maruz kalmadan hataların bulunması ve hatalara karşı gerekli önlemlerin alınmasını gerektirir. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), olası hata biçimlerini ve onların nedenlerini ortaya çıkarmak için kullanılan gelişmiş bir yöntemdir. Risklerine göre olası hataları ortaya çıkararak, önceliklerini belirleyip onların oluşmasını yok ederek veya azaltarak gelecekteki analizler için sürekli süreç iyileştirme amacı ile çalışan disiplinli bir yöntem olduğundan, iş güvenliğini tehdit altına alacak risklerin ortaya çıkaracağı sonuçların tespit edilmesinde kullanılan etkin bir yöntemdir (Civelekler, 2012).

Risk analizi teknikleri girdi olarak sayısal verilere (olasılık, şiddet, tespit edilebilirlik v.b) ihtiyaç duyduğundan ilgili uzmanın bilgi seviyesi ve deneyimi risk analizinden elde edilecek sonuçları doğrudan etkilemektedir. Risklerin sayısallaştırılması aşamasında ortaya çıkan belirsizliklerin giderilmesi amacıyla bulanık mantık yaklaşımından yararlanılabilmektedir.

Ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği alanında akademik çalışmalar tüm alanları kapsayıcı nitelikte olmayıp, patlayıcı madde üreten tesislerdeki risk faktörlerinin belirlenmesi ile patlama riskine yönelik etki analizi için yapılmış çok sınırlı sayıda çalışma bulunmaktadır. Bu tezin amacı bir patlayıcı madde üretim tesisindeki risk faktörlerini tespit etmek, tespit edilen bu riskleri farklı iki metotla derecelendirerek karşılaştırmak ve patlama etkisinin analiz edilebilmesi için bir bilgisayar programı geliştirmektir.

Beş bölümden oluşan tez çalışmasının birinci bölümünde tezin konusu, amacı ve kapsamı detaylı bir şekilde açıklanmıştır.

İkinci bölümde tehlike, risk, ve bunlarla ilişkili diğer kavramlar gerek mevzuat tanımları, gerekse literatür araştırılmasına yer verilerek açıklanmaya çalışılmıştır. Risk faktörlerinin belirlenmesi aşamasında kullanılan metot olan Hata Türleri ve Etkileri Analizi bu bölümde detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Aynı zamanda tespit edilen risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi aşamasında ortaya çıkan belirsizliklerin giderilmesi amacıyla

yararlanılan bulanık mantık yaklaşımına yönelik bilgiler ile patlama riskinin analiz edilmesinde yararlanılan yöntemlere ve bilgilere de bu bölümde yer verilmiştir.

Üçüncü bölümde Türkiye’de faaliyet gösteren bir patlayıcı madde üretim tesisinde risk faktörlerinin belirlenmesi ve analizi amacıyla, öncelikle uygulama yapılacak işyeri ve bu işyerine ait bölümler tanıtılmıştır. Bu işyerinde, HTEA yöntemiyle uygulama yapılarak tespit edilen her bir risk için risk öncelik sayısı (RÖS) değerleri hesaplanmış, sonrasında ise aynı riskler, bulanık mantık yaklaşımıyla analiz edilerek, derecelendirilmiş ve bulanık risk öncelik sayısı (B RÖS) değerleri bulunmuştur. Bu bölümde son olarak her iki metotta da en yüksek risk olarak tespit edilen patlama riskine yönelik etki analizinin yapılabilmesi için geliştirilen ve Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi kelimelerinin harflerinden kısaltılarak PAREA adı verilen bilgisayar programının geliştirilme süreci açıklanmış ve tanıtımı yapılmıştır.

Dördüncü bölümde HTEA metodu kullanılarak tespit edilen riskler, hem tesis genelinde hem de atölye ve bölüm özelinde ele alınarak değerlendirilmiştir. HTEA metodu ile analiz edilen riskler ile bulanık mantık kullanılarak analiz edilen riskler karşılaştırılarak yorumlanmıştır. PAREA programının genel değerlendirilmesi ve programın artıları ile eksileri bu bölümde ele alınmıştır.

Tezin beşinci bölümünde ise elde edilen sonuçlar ve önerilere yer verilmiştir.

2. KAVRAMSAL ÇERÇEVE VE İLGİLİ ARAŞTIRMALAR

2.1. Tehlike, Risk ve Bununla İlişkili Diğer Kavramlar

2.1.1. Tehlike

Tehlike ve risk kavramları genelde birbirlerine sıklıkla karıştırılan ve birbirleri yerine kullanılan kavramlardır. Temelde birbirlerine yakın anlamlar çağırırsa da bu iki kavram arasında önemli farklılıklar vardır.

Tehlike bir zarara neden olma potansiyelidir. Bu zarar yaralanma, ölüm hastalanma, bir malın ya da ekipmanın hasar görmesi, çevrenin kirlenmesi, üretimin durması gibi farklı şekillerde ortaya çıkabilir (Wells, 1996: 1; Sabuncu, 2005: 6). Başka bir tanımda tehlike; insanın yaralanmasına, malın veya çevrenin zarar görmesine neden olan ya da bunların kombinasyonları şeklinde ortaya çıkan fiziksel bir durum olarak tanımlanmıştır (Jones, 1992: 3). Tehlike, zarara sebep olabilecek hal ve duruşlar olarak da ele alınabilir. Bunlar insan davranışları, maddeler veya makineler, çalışma metotları, iş organizasyonu olabilir. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanuna göre çıkarılan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğinde ise tehlike; işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyeli olarak tanımlanmıştır.

2.1.2. Risk

Risk, tehlike dolayısıyla ortaya çıkan bir olayın oluşturduğu hasar derecesi ile olayın oluşma olasılığının bileşkesidir. Risk terimi insanlar için farklı anlamlara gelir. Örneğin risk Nasir, McCabe ve Hartono'ya göre belirsizlik ve belirsizliğin sonucudur (Nasir, McCabe ve Hartono, 2003). Gray ve Larson'a göre istenmeyen bir olay ve onun muhtemel sonuçlarından beklenmeyenlerinin gerçekleşebilme şansı olarak tanımlanmaktadır (Gray ve Larson, 2007: 576). Risk, proje başarısı üzerinde nihai etkisi tam olarak bilinmeyen bir tehdit olarak tanımlanabilmekte ve riske olumsuz yönden bakılarak bir tehlike olarak da görülebilmektedir (Barber, 2005). 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanuna göre çıkarılan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğinde ise risk; tehlikeden

kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimali olarak tanımlanmıştır.

Risk için farklı kaynaklarda yapılan tanımlar aşağıda özetlenmiştir:

Risk, kimyasal ya da fiziksel bir maddeye maruz kalma sonucunda belirli koşullar altında zararlı bir olayın oluşma olasılığıdır (Duffus ve Worth, 1996: 327).

Risk, bir madde veya olayın belli koşullar altında ortaya çıkaracağı olumsuzluğun olasılığıdır. Riskin iki bileşeni, olumsuz bir olayın meydana gelme olasılığı ve bu olumsuz olayların sonuçlarıdır (Devlet Planlama Teşkilatı [DPT], 1999: 3).

Belirli bir zararın meydana gelme durumu ile bir olayın istenmeyen sonuçlarının şiddetinin frekansı ya da olasılığının kombinasyonudur. Risk; insan sağlığına, çevreye, mala veya değerli herhangi bir şeye etki edecek bir olumsuzluğun olma olasılığının ve şiddetinin ölçümü şeklinde ifade edilen tahrip veya yok olma ihtimalidir (Topuz, 2009).

Risk; istenmeyen sonuçlara maruz kalma olarak tanımlanabileceği için iki boyutu vardır. Bunlar; maruz kalma ve istenmeyen sonuçların doğasıdır. Bir olayın olma olasılığı ve bu olayın çıktıları ya da sonuçları riski ilgilendiren iki boyuttur. Bu iki boyut arasındaki ilişkinin sistematik olarak incelenmesi kullanışlı ve gerçekçi bir risk değerlendirme için esas teşkil eder (Lia, Huang G.H, Zeng, Maqsood ve Huang Y., 2007).

Risk, tanımlanan bir tehlikenin olma olasılığı veya frekansı ile bu tehlikenin sonuçlarının büyüklüğünün bir kombinasyonudur (Sonnemann, Castells ve Schuhmacher, 2004: 19).

Herhangi bir tehlikeli olayın olma olasılığı ya da sıklığı ile bu olayın sonuçlarının birleşimidir (Wessberg, Molarius, Seppala, Koskela ve Pennanen, 2007).

Yukarıda verilen tanımlardan yola çıkarak riskin, belirsizlik kavramını içerdiği görülmektedir. İşyerlerindeki risklerin kökenleri, işyerlerinde mevcut olan belirsizliklere dayanmaktadır. Risk ile yakından ilişkilendirilen belirsizlik, bir olayın oluşma olasılığı ile ilgilidir. Gelecek hakkında bilinmeyenler, faydalı olsun ya da olmasın belirsizliği meydana getirir. Dolayısıyla belirsizlik faydalı ya da zararlı olası tüm sonuçları içerir. Hal böyle

olunca faydalı olabilecek sonuçların olasılığı fırsat, fayda sağlamayanlar ise riski ifade eder (Dirgeme ,1998).

Risk ve belirsizlik arasındaki temel fark ise büyüklüklerinin belirlenmesi ile ilişki içerisindedir. Riskli durumlar derecelendirilebilirken, belirsizlik için aynı durum geçerli değildir. Riskin oluşması durumunda, riskin büyüklüğünü belirlemek için sayısal bilgiler kullanılarak istatistik metotları uygulamak mümkündür. Ancak, belirsizlik derecelendirilemediği için bir olayın oluşma olasılığının ifade edilemediği durumları açıklamak için kullanılır (Kuşan, 2009).

Riskin verilen bir olay için iki öncelikli bileşeni vardır: O olayın oluşma olasılığı ve meydana gelen olayın etkisidir. Bu nedenle risk kavramsal olarak olasılığın ve etkininin fonksiyonu ile tanımlanır ve sembolik olarak $\text{risk} = f(\text{olayın oluşma olasılığı}, \text{olayın etkisi})$ gibi ifade edilebilir (Kerzner, 2006: 1040). Buradan hareketle, riskin iki önemli faktör ile ilişkili olduğu görülmektedir:

- Tehlikeli bir olaydan kimin, hangi nedenlerden ve ne kadar zarar görebileceği,
- Tehlikeli olayların ne sıklıkla gerçekleşebileceği.

Buna ilaveten genel olarak karşılaşılmaması muhtemel hasar ve kayıplar olarak bilinen risk kavramı; yaygın olarak kullanılan bir denklem şeklinde de; tehlikeli bir olayın olma olasılığı, mevcut sistemin buna karşı koyma durumu ve bu olayın zararlı sonuçlarının çarpımı olarak da ifade edilmektedir (Alan, 2008).

Bir olayın riski; modern risk yönetimi yaklaşımlarının hemen hepsinde aşağıda sıralanan dört temel unsurun bir fonksiyonu olarak tanımlanmaktadır (Sandia National Laboratories, 2004: 25-33).

- Olayın olma olasılığı (probability)
- Bu olayın sonucunda meydana gelmesi muhtemel tehlikeler (hazards)
- Olayın yaratacağı zararlı durumlar (consequences)
- Bu olayı önleyecek ve ya tehlikeleri dolayısı ile zararları en aza indirecek sistemin etkinliği. (prevention and mitigation)

Yukarıdaki ifadelerden de anlaşılacağı üzere insanları veya durumları tanımlamak için günlük dilde yaygın olarak kullanılan risk deyimini; tesadüfi sonuçları, tehlikeyi veya fırsatı ifade edebilmektedir. Örneğin, riskli iş karanlık uğraşlar anlamına gelmektedir; risk alıcı, cesur, güvenli ve gözü pek bir kişiyi tarif etmektedir; risk sevmeyen, riskten çekinen birini tanımlarken risksiz, hiçbir belirsizlik ya da olumsuz sonuç içermeyen etkinlikleri tanımlamaktadır (Topuz, 2009).

2.1.3. Kabul edilebilir risk seviyesi

Hayat risklerle doludur ve her gün insanlar çok farklı riskli durumlarla karşılaşır. Bazı durumlarda riskin kabul edilebilirliği ya da kabul edilemezliği sağduyunun bir parçası halindedir. Ancak risk kabulü, prensipte oldukça kompleks bir konu olup, özellikle bazı riskler için, riskin kabul edilebilirliği hiçte kolay bir mesele değildir. Bazı riskler bilgi sahibi olunmadan kabul edilebilirken, bazı riskler, bunlardan sakınmanın pratik olmamasından ötürü kabul edilmektedir. Yaşamdaki risklerin kaynağını çoğu zaman insanlar tarafından rutin olarak görülen ve yapılan beslenmek, güneşlenmek veya sigara içmek gibi faaliyetlerden oluşmaktadır. İnsanlar belirli riskleri kabul etmektedir çünkü bu riski oluşturan davranıştan ya da durumdan fayda da sağlayabilmektedir. Örneğin, bir yatırımcı kar etmeyi umarak paralarını borsada riske etmektedir. İnsanlar otomobilleri hızlı kullanabilmektedir çünkü bu durum seyahat süresini kısaltabilmektedir. İnsanların hayattaki birçok riski kabul etmesinin başka bir nedeni ise bu risklerin hem olağan hem de uzak görülmesidir. Caddede karşıdan karşıya geçmek, ilaç kullanmak, araba kullanmak, uçakla uçmak gibi günlük etkinlikler bile bir derece risk taşımaktadır, fakat insanlar tarafından güvenli olarak kabul edilir. Bu etkinlikler bildik ve rutin olduğu için tehdit edici olarak algılanmamaktadırlar (Moore, 2007: 499). Belirli durumlarla ilişkili risk algısı ve kabul edilebilirlik birçok faktöre bağlı olmakla birlikte, objektif olmaktan çok subjektiftir. Görüldüğü gibi insanlar alınan riske karşılık olarak bir fayda elde etmekte, başka bir ifadeyle riski, faydayla takas etmektedirler (Starr, 1969; Wilson, 1979; Slovic, 1987; Elms, 1992; Reid, 1992; Slovic, 1999).

Tehlikelerden kaynaklanan bazı riskler o kadar küçüktür ki bunlar kolaylıkla ve geniş ölçüde kabul edilebilirken, bazı riskler ise çok büyük olduğundan bunlar derhal ortadan kaldırılmalı ya da azaltılmalıdır. İşyerlerindeki riskler, işyerinin tasarım ve kurulum ve işletim aşamalarında alınan ya da alınması gereken tedbirlerle genellikle tamamıyla

ortadan kaldırılmakta ya da kabul edilebilir risk seviyesine çekilmektedir. Kabul edilebilir risk seviyesi ise risk yönetiminin en zor aşamalarından biridir. Zira kabul edilebilir risk seviyesi ülkeden ülkeye, kültürden kültüre ve hatta insandan insana değişebilmektedir. Ancak hepsindeki ortak nokta riskin daha küçük seviyeye indirebilmesi için harcanan çaba ile bunun karşılığında sağlanan yarara göre bir değerlendirme yapılmasıdır.

Kabul edilebilir risk seviyesi IEC 61508 standardında 3 bölgeye ayrılarak tarif edilmiştir. Bunlar; kabul edilmez bölge, tolere edilebilir bölge ve geniş ölçüde kabul edilebilir bölgedir. Şekil 2.1.'de kabul edilemez bölge, tolere edilebilir bölge ve geniş ölçüde kabul edilebilir bölge gösterilmiştir (Türk Standartları Enstitüsü [TSE], 2010: 36).

Kabul edilemez bölge

Risk seviyesinin çok yüksek olduğu ve tolere etmenin mümkün olmadığı bölgedir. Riskin faaliyetle ilişkili faydalarına bakılmaksızın kabul edilemez olduğu düşünülür. Bu bölgeye düşen bir risk yok edilmeli veya diğer seviyelere indirgenmelidir.

Tolere edilebilir bölge

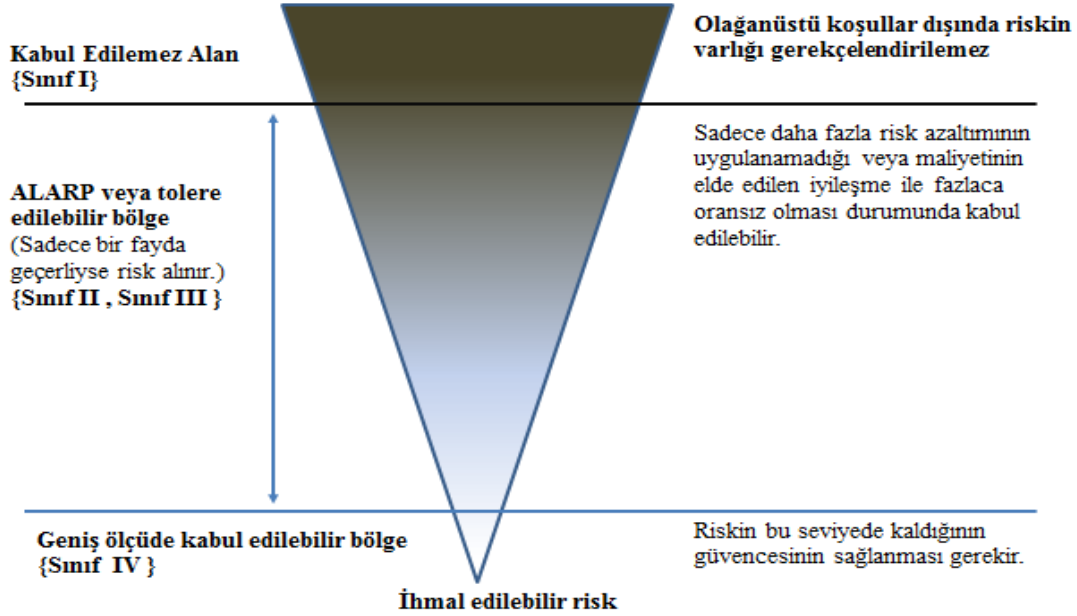
Belirgin faydanın olası negatif etkiye ağır bastığı durumdaki iki uç risk seviyesi arasında kalan bölgedir. Tolere edilebilir riskler uygun bir şekilde değerlendirilmeli ve kabul edilebilir seviyede kaldıklarından emin olmak için periyodik olarak incelenmelidir.

Geniş ölçüde kabul edilebilir bölge

Bu bölgede risk büyük bir soruna neden olamayacak kadar düşüktür. Risklerin yeterince düşük ve iyi bir şekilde kontrol edilebilir olduğu düşünülür. Sadece makul bir şekilde uygulanabilir önlemler mevcutsa ilave risk azaltımı gerekir.

Kabul edilebilir risk seviyesi, bir riskin öneminin değerlendirildiği görev tanımı olup, kuruluşun hedeflerini, dış ve iç kapsamını esas alır ve standartlar, kanunlar, politikalar ve diğer şartlardan türetilebilir. Benzer şekilde 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanuna göre çıkarılan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğinde de kabul

edilebilir risk seviyesi; yasal yükümlülöklere ve işyerinin önleme politikasına uygun, kayıp veya yaralanma oluşturmıyacak risk seviyesi olarak tanımlanmıştır.



Şekil 2.1. Kabul edilebilir risk seviyesi

2.1.4. Risk analizi

Risk analizi; mevcut veriler ışığında sistemin mevcut durumunu sistematik ve analitik bir metodoloji ile analiz ederek muhtemel tehlikeleri belirlemek ve bunların sonuçlarının bireyler, kitleler, çevre ve sahip olunan varlıklar üzerinde yarattığı zarar görme riskini/olasılığını tahmin etmektir (American Bureau of Shipping Incorporated, 2003).

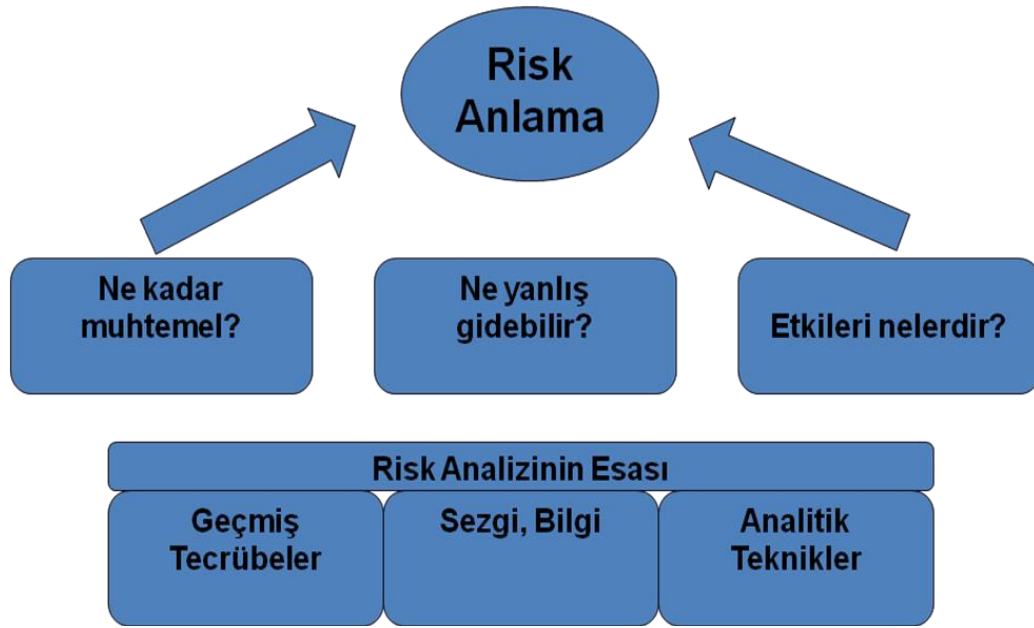
Bu aşamada sırasıyla;

- Kabul edilebilir risk kriterlerini de kapsayan bir risk değerlendirme planı ortaya konur,
- Risk Analizi yapılır,
- Analiz sonuçları değerlendirilir,
- Elde edilen sonuçlar raporlanır.

Risk analizi; riskin doğasını anlama ve risk seviyesini belirleme süreci olarak tanımlanabilir. Risk analizi, risk derecelendirmesi (değerlemesi) ve risk iyileştirmesi hakkında kararlar için temel teşkil eder. Risk analizi aynı zamanda riskin büyüklüğünü

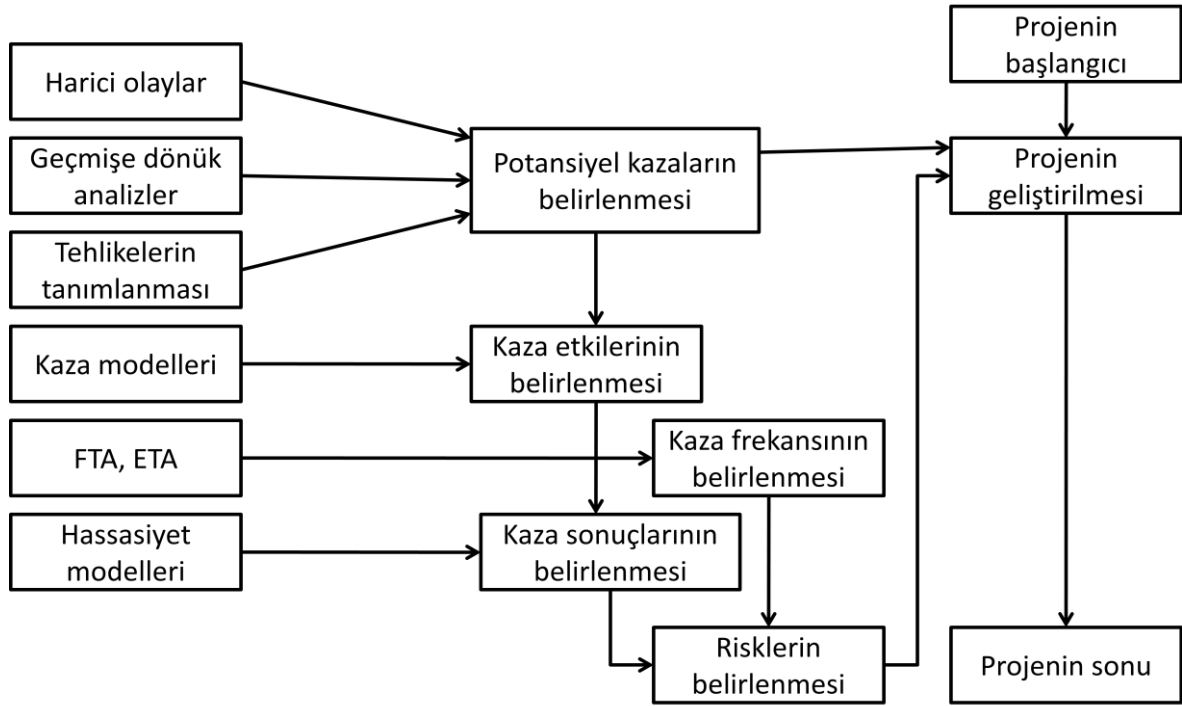
tahmin etme sürecini de kapsar (Türk Standartları Enstitüsü [TSE], 2010: 12-13). Başka tanımda risk analizi; bir sistematığe dayanarak olası is kazaları risklerine yol açabilecek tehlikeli durum ve tehlikeli davranışların yapılan is ve işyeri özelindeki koşulların irdelenerek gerçekleşme olasılıklarının tahmini ve önceliklerinin sıralanmasının bir çizelgede gösterilmesi eylemidir olarak tanımlamıştır (Öztaş, 2007).

Şekil 2.2.'de ise risk anlaşılması ve risk analizinin esasları verilmiştir. Şekil 2.2 incelendiğinde riskin anlaşılması, riske neden olan tehlikenin ne kadar muhtemel, riskin hangi istenmeyen olayın sonucunda ortaya çıkabileceği ve riskin etkilerinin ne olacağı sorularına verilecek cevabın anlaşılmasına bağlıdır. Risk analizinin esasları ise geçmiş tecrübeler, sezgi, bilgi ve analitik teknikler ile ortaya konur (Lorenzo ve Arendt, 2005).



Şekil 2.2. Riskin anlaşılması ve risk analizinin esasları

Risk analizi, bir tehlikeden kaynaklanacak kayıp yaralanma veya başka zararlı sonuç gelme ihtimalini ve bunun etkilerini karakterize etmek için bu tehlike hakkındaki bilgileri gözden geçirme sürecidir. Bu süreçte bilimsel ve sistemli çalışmalar yapılarak, riskin özellikleri ortaya çıkarılır, tehlikenin ortaya çıkma olasılığı, bu tehlikenin riske dönüşmesine yol açan faktörler riskin etkisi ve uzantısı hakkındaki sonuçlar değerlendirilir. Risk analizi, yukarıda sözü edilen hususlar dikkate alınarak uygulamaya geçildiği takdirde riskin şiddeti ve sonuçları hakkında bir sonuç alınabilir. Şekil 2.3.'de risk analizi sürecinin adımları gösterilmiştir (Casal, 2008).



Şekil 2.3. Risk analizi sürecinin adımları

İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğinde risk analizinin, tespit edilmiş olan tehlikelerin her biri ayrı ayrı dikkate alınarak bu tehlikelerden kaynaklanabilecek risklerin hangi sıklıkta oluşabileceği ile bu risklerden kimlerin, nelerin, ne şekilde ve hangi şiddette zarar görebileceği belirlenerek yapılması gerektiği ifade edilmiştir. Risk analizi, tehlikeden kaynaklanacak risklerin ortadan kaldırılması veya kabul edilebilir risk seviyesini çekilmesi için alınması gerekli tedbirlerin kararlaştırılması aşamalarını da içine alır. Bu aşamalar izlenmek suretiyle tespit edilen risklerin, işyerinin önleme politikasına ve yasal gerekliliklere uygun olarak belirlenen bir kriterle karşılaştırılması suretiyle, kabul edilebilir bir risk olup olmadığına karar verilir. İşte bu yaklaşım risk analizi olarak adlandırılır.

2.1.5. Risk değerlendirmesi

Risk değerlendirmesi, bir tehlikenin neden olabileceği istenmeyen sonucun önlenmesi ya da bu sonucun zararlı etkisinin azaltılması amacıyla yapılması gerekli işlem ve süreçlerin bütününe denir. Bu açıdan bakıldığında risk değerlendirmesi tehlikelerin tanımlanması, risklerin belirlenmesi, analizi ve derecelendirilmesi, riskin ortadan kaldırılması veya kabul edilebilir seviyeye çekilmesi amacıyla alınması gereken önlemleri belirlemeyi ve dokümantasyonu da içerisine alan topyekun bir süreçtir. Benzer şekilde 6331 sayılı İş

Sağlığı ve Güvenliği Kanuna göre çıkarılan İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğinde de risk değerlendirilmesi; işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmalar olarak tanımlanmıştır.

2.1.6. Risk yönetimi

Risk yönetimi kavramı ilk olarak 1950'lerin başlarında kullanılmaya başlanmıştır. İlk başlarda sigortacılık kavramı içerisinde değerlendirilen risk yönetimi kavramı, risk yönetiminin akademik bir disiplin olma sürecine paralel olarak değişmiş ve günümüzde kullanılan anlamını almıştır. Geçmişte risk yönetimi, sistem mühendisliğinin bir fonksiyonu olarak ele alınmaktaydı. Zaman içerisinde akademik anlamda da gelişen bu kavram bugünlerde mühendislik uygulamaları, askeri ve havacılık programları, finans ve sigortacılık alanlarında sıklıkla kullanılmakta ve uygulama alanı bulmaktadır. Risk yönetim kavramı, belirsizlikleri ve belirsizliğin yaratacağı olumsuz etkileri daha kabul edilebilir bir düzeye indirmeyi amaçlayan bir disiplin ve problemlerin oluşmadan önlenmesini sağlayan proaktif bir yaklaşımdır (Özkılıç, 2007:69).

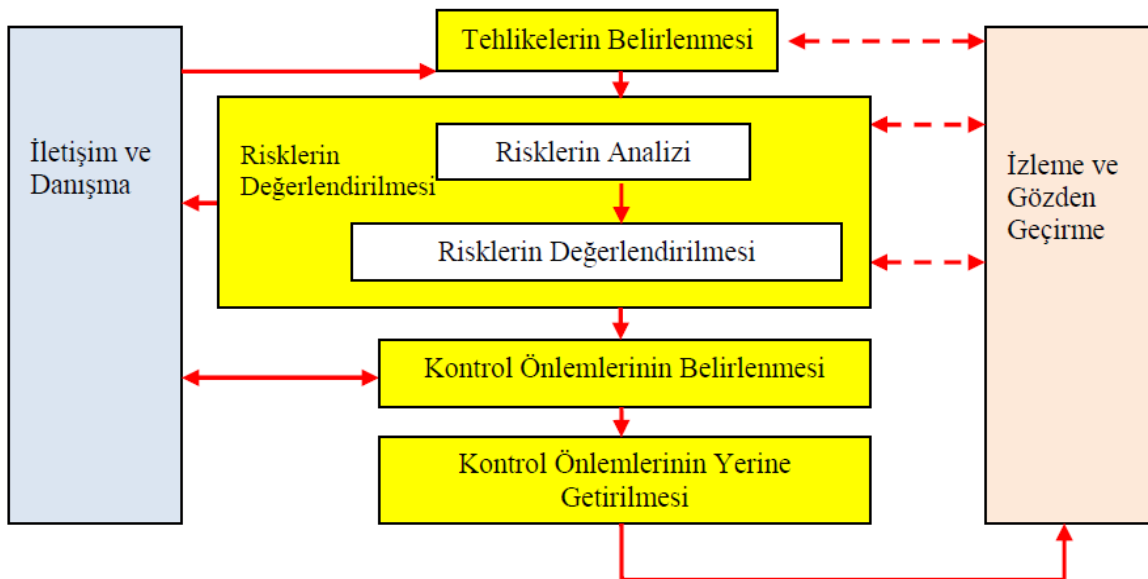
Risk yönetimi, işyerini risklerle mücadeleye ilişkin olarak yönlendirmek ve kontrol etmek için koordineli faaliyetler olarak da ele alınabilir. Risk yönetim çerçevesi ise, kuruluş çapında risk yönetimini tasarımı, gerçekleştirme, izleme, gözden geçirme ve sürekli olarak iyileştirme ile ilgili temelleri ve kuruluşa yönelik düzenlemeleri sağlayan bileşenler kümesidir (International Organization for Standardization [ISO], 2012: 3).

Tehlikenin yanında politik, sosyal, ekonomik ve mühendislik faktörleri dikkate alan, düzenleyici seçenekleri geliştiren, analiz eden ve güvenli bir kullanım için en iyi düzenlemeyi seçmeyi sağlayan risk yönetimi bir karar verme sürecidir [9]. Başka bir tanıma göre ise risk yönetimi; prosesin tanımlanması, değerlendirilmesi, seçilmesi ve insan sağlığı ile ekosistemde olabilecek riskleri azaltmak için yapılan incelemedir. Risk yönetiminin hedefi bilimsel bakış, uygun maliyet, sosyal, kültürel, etnik politik ve kanunları içine alarak risklerin azalması ve önlenmesidir (Environmental Protection Agency, 1997).

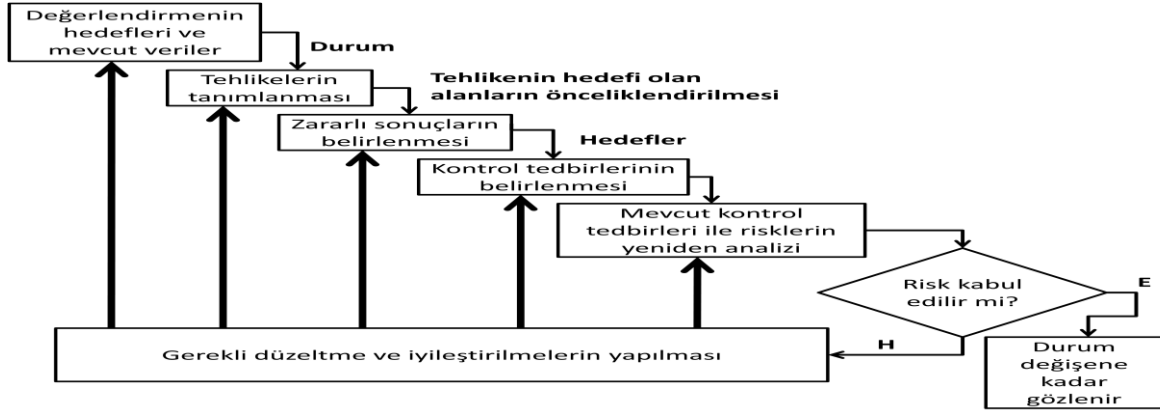
Risk yönetiminin üç bileşeni vardır. Bunlar; eğitim, ekonomi ve denetimdir. Bu bileşenler birbirinden bağımsız olmayıp aksine birbirleriyle sıkı bir ilişki içerisindeyler. İyi bir risk yönetimi için bu unsurlar bir riski yönetmek için birlikte kullanılmalıdır.

Risk yönetiminde, risk değerlendirmesi sürecindeki adımlara ilave olarak bu sürece destek olabilecek personel, eğitim, kaynaklar ve diğer imkanlarda kullanılmalıdır.. Aynı zamanda kurulan risk yönetim sisteminin işleyişi sürekli bir denetim mekanizması kurularak takip edilmelidir. Öte yandan risk yönetiminde hedefler konulmalı bu hedeflerin yakalanmasına yönelik planlar yapılmalı, hedeflere ulaşamadığında sistemin aksayan yönleri tespit edilmeye çalışılmalıdır. Bu yüzden risk yönetimi yalnızca bir grubun değil bütün çalışanların ilgi alanında olmalıdır. Sistemin sağlıklı bir şekilde sürdürülebilirliği için iletişim ve istişare kanalları açılmalıdır. İzleme ve gözden geçirme yapılmalıdır. Risk yönetimindeki unsurların birbirleriyle ilişkileri şematik olarak Şekil 2.4.'de gösterilmiştir (Özkılıç, 2005: 36).

Gerçek anlamda bir risk yönetimini sağlayabilmek için; farklı tip risk türlerinin birbirleri ile etkileşimi, kullanılan donanımsal sistemlerin teknik unsurları, teknik sistemleri idare eden operatörlerin davranışları, çevresel ve fiziksel tehlikeler ile mevcut mevzuat kuralları gibi birçok hususun sistematik olarak birlikte dikkate alınması gerekmektedir (Chevalier, 2012). Risk yönetim sistemi ve risk değerlendirme yaklaşımı şekil 2.5.'de gösterilmiştir (Sandia National Laboratories, 2004: 25-33).

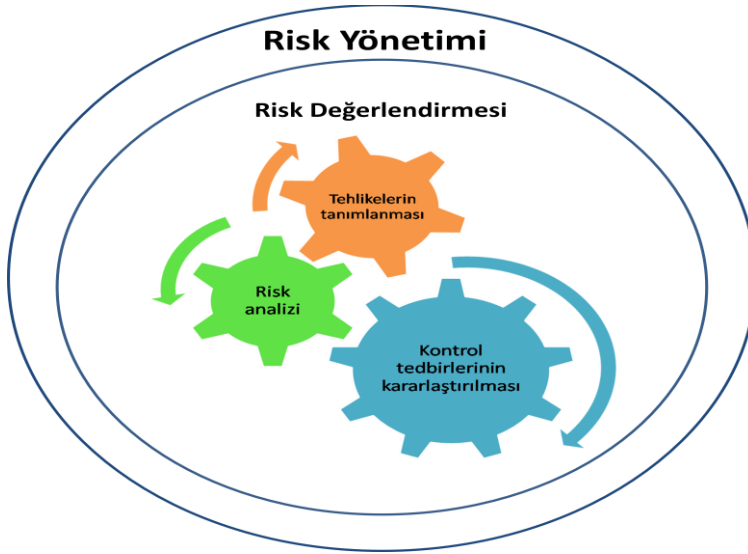


Şekil 2.4. Risk yönetim sistemindeki unsurların şematik gösterimi



Şekil 2.5. Risk değerlendirme ve risk yönetimi yaklaşımı

Görüldüğü üzere risk yönetimi, iş kazaları ve meslek hastalıklarını önlemek veya bunların etkilerini azalmak amacıyla tehlikelerin tanımlanması, risklerin belirlenmesi, analizi ve derecelendirilmesi, kabul edilebilir risk seviyesinin belirlenmesi, kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması, bu tedbirlerin hayata geçirilmesi amacıyla yapılacak planlamayı ve artık riskin sürekli takip edilmesi unsurlarını içine alan çatı bir kavramdır. Şekil 2.6.'da yukarıda açıklanan kavramların birbirleriyle ilişkisi gösterilmiştir.



Şekil 2.6. Risk yönetimi içerisinde yer alan kavramların birbirleriyle olan ilişkisi

2.2. Hata Türleri ve Etkileri Analizi

İnsan sağlığına verilen önem, hata önleme ve riskleri azaltma gayretlerini ortaya çıkarmıştır. Problemlerin çözülmesi, kazaların ve meslek hastalıklarının engellenmesi, güvensizliğin azaltılması vb. için hataların önlenmesine yönelik faaliyetler geliştirmek

gerekmektedir. Bunun anlamı, çalışanlar herhangi bir zarar görmeden önce hataların bulunması ve elimine edilmeye çalışılması gerektiğidir. Hata Türü ve Etkileri Analizi (HTEA), olası hata biçimlerini ve onların nedenlerini ortaya çıkarmak için kullanılan gelişmiş bir yöntemdir. İngilizce Failure Mode and Effect Analysis kelimelerinin baş harfleri (FMEA) ile anılan bu yöntem: sistem, tasarım, süreç veya serviste oluşabilecek hataların analizi ile bu hatalardan kaynaklanabilecek etkilerin azaltılmasını hedefleyen bir yöntemdir.

Risklerine göre olası hataları ortaya çıkararak, önceliklerini belirleyip onların oluşmasını engelleyerek veya azaltarak gelecekteki analizler için sürekli süreç iyileştirme amacı ile çalışan disiplinli bir yöntem olduğundan, iş güvenliğini tehdit altına alacak risklerin ortaya çıkaracağı sonuçların tespit edilmesinde etkin bir yöntemdir (Civelekler, 2012).

HTEA aşağıda sıralanan özelliklerinden dolayı sıklıkla kullanılan risk analizi tekniklerinden biri haline gelmiştir;

- Uygulama kolaylığına sahip olması,
- Sürekli gelişme ve iyileşmeyi sağlaması.
- Çok detaylı teorik bilgi gerektirmemesi,
- Uygulama sırasında uygulayıcıların çok büyük tecrübe sahibi olmalarının gerekmemesi,

Hata Türü ve Etkileri Analizi çok farklı sektörlerde uygulanmış ve olumlu sonuçlar elde edilmiştir. Klasik risk analizden farklı olarak tespit edilebilirlik/saptanabilirlik faktörünün eklemesi önemli bir farkıdır (Kahraman ve Demirer, 2010).

Hata türü ve etkileri analizi (HTEA), sistem güvenliğini arttırmak ve risk yönetim kararları için bilgi sağlamak amacıyla; bilinen veya potansiyel hataların tanımlanması ve önlenmesinde kullanılan önemli bir tekniktir (Guimares, Lapa ve Franklin, 2004). HTEA ile bir ürün ya da süreçteki olası hatalar tespit edilir ve ürünün işlevselliği üzerindeki etkisi değerlendirilir. Bu analiz ile güvenilirlik tahminleri, ürün ve süreç tasarımı için temel bilgiler elde edilir (Teoh ve Case, 2004).

HTEA metodunda kullanılan tanımlar aşağıda açıklanmıştır (Civelekler, 2012)

Hata türü; bir sistemin, beklenen fonksiyonlarının gereği gibi yerine getirilmemesi ya da hiç yerine getirilmemesi durumu veya normal olmayan işleyiştir. Hata fonksiyonu olarak da kullanılmaktadır.

Hata nedeni; sistemin belli bir bölümünde is kazasını veya meslek hastalığını oluşturabilecek ilk faktördür.

Hata etkisi; gerçekleşmesi dâhilinde olası hata veya hataların üretim veya çalışanlara yansması ve/veya iş sağlığı ve güvenliği üzerindeki etkisidir.

2.2.1. HTEA yönteminin geçmişi

Hata Türü ve Etki Analizi, ilk olarak 1949 tarihinde ABD ordusu tarafından uçuş kontrol sistemlerinin tasarımı aşamasında geliştirilmiştir (Kahraman, 2009). Bu metot, sistemi oluşturan bileşen hatalarının sistem üzerindeki etkilerinin belirlenmesi ve analizi için güvenilir bir değerlendirme tekniği olarak kullanılmıştır.

HTEA metodu, 1960-1965 yılları arasında NASA tarafından aya insan indirme projesi olan APOLLO projesinde bileşenlerin hata yapmamasını sağlamak amacıyla kullanılmıştır. Sonrasında ABD Silahlı Kuvvetlerinde problemleri belirleme ve analiz etme yolu olarak yararlanılmış ve 1970 yıllarında çok gizli olma özelliği kaldırılmıştır (Gönen, 2004).

Sistem ve donatım hatalarının etkilerinin belirlenmesi için güvenilir bir değerlendirme aracı olarak kullanılan HTEA tekniği, 1974’de askerî standart olarak MIL-STD-1629 koduyla revize edilmiş ve 1980’de MIL-STD-1629A koduyla yeniden düzenlenerek son şeklini almıştır (Yılmaz, 2000a).

HTEA, 1970-1975 yılları arasında ABD uçak sanayinde uygulanmıştır. İlk endüstriyel uygulaması, 1975 yılında Japon NEC tarafından başlatılmıştır. 1980 yılında Ford tarafından metotta yapılan bazı değişiklikler ile askeri kimliğinden çıkarılmış ve otomotiv sanayinde uygulanmıştır. Benzer şekilde Fransız Renault ile İtalyan Fiat şirketi de Ford firmasındaki uygulamalarla aynı analogi temelinde HTEA metodunu kullanmıştır (Akin, 1998; Musabeyli, 1999).

Nihayet EN 60802:2006 standardı ile HTEA analizi için uygulama birlikteliğinin sağlanmasına yönelik prosedürel gereklilikler tanımlamış, tanımlar ve temel prensipler oluşturulmuştur (Türk Standartları Enstitüsü, [TSE], 2006: 1-42).

2.2.2. HTEA tekniğine ilişkin literatür araştırması

HTEA yönteminin yararları, uygulamada karşılaşılan zorlukları ve uygulama alanları ayrıntılı olarak incelenmiş, bir uygulama üzerinde bu yöntem bulanık kümeler yaklaşımı ile karşılaştırılarak aynı sonuçlara ulaşılmıştır (Boran, 1996).

HTEA yöntemi turizm sektöründe uygulanmış ve analiz sonucu alınacak düzenleyici önlemlerle; turistik işletmelerin müşteri memnuniyetinin sağlamasının kolaylaşacağı, maliyetlerinin azalacağı, rekabet gücünün artacağı ve firma imajının daha da güçleneceği belirtilmiştir (Yılmaz, 2000b).

Dizel motorlarda bulanık mantık tabanlı bir HTEA uygulanarak bu yöntemin bulanık mantıkla birlikte kullanılabileceği gösterilmiştir (Xu, Tang, Xie, Ho ve Zhu, 2002).

2003 yılında yapılan bir çalışmada; 12 adımdan oluşan bir HTEA süreci önerilerek olasılık, ağırlık ve tespit edilebilirlik değerlerine ait tablolar ortaya konulmuştur (Pillay ve Wang, 2003).

2003 yılında yapılan başka bir çalışmada; HTEA yöntemi neticesinden elde edilecek risk öncelik sayıları sonucuna göre, alınması gerekli önlemlerin belirlenmesi üzerine çalışmalar yapılmıştır (Stamatis, 2003).

HTEA yöntemi, hidrolik sıkıştırılmalı çöp kasalarında uygulanmış, ürünün tasarımında ortaya çıkabilecek hatalar ile bu hataların nedenleri ve etkilerini üzerine araştırma yapılmıştır (Gönen, 2004)

İlaç enjeksiyon süreci üzerinde yapılan enjeksiyon formüllerinin standartlaştırılması, veritabanına dayalı hesaplama araçları ve hazır preparat kullanımı gibi değişiklikler sırasında HTEA tekniğinden yararlanılmış; tekniğin güvenli tıbbî uygulama plânlamasında kullanılabileceğini gösterilmiştir (Apkon, Leonard, Probst, Delizio ve Vitale, 2004).

HTEA ve bulanık mantık yöntemi bir elektronik eşya üretim fabrikasında birlikte uygulanmış, uygulamanın risklerin derecelendirilmesi aşamasında için kolaylık yaratacağı vurgulanmış ancak sonuçların sıralanmasında aynı başarı ortaya konamamıştır (Bilgin, 2006).

HTEA yönteminde bulanık mantık kullanılarak bir kamu hastanesinin satın alma sürecinin iyileştirilmesine yönelik çalışmalar yapılmıştır (Öztürk, 2008).

Afyonkarahisar ilinde bulunan 30 mermer işletmesinde 5 yıllık iş kaza kayıtları ve anket sonuçları incelenerek, Hata Türü ve Etkileri Analizi yöntemi ile değerlendirilmiştir. Mermer işletmelerindeki risklerin en aza indirilmesi için alınması gereken düzenleyici önlemler belirlenmiştir (Ersoy ve Eleren, 2009).

HTEA yöntemi Tayvan'daki bir OEM/ODM elektronik üreticisinin durumuna istinaden, Giriş Kalite Kontrolde (IQC) Avrupa Birliği Tehlikeli Maddelerin Kısıtlandırılması (RoHS) Direktifine uyum içinde yeşil bileşenlerin risk analizinde kullanılmıştır (Allen, Hua, Hsu, Kuo ve Wua, 2009).

Bir inşaat taahhüt firmasının 12 katlı 10 bloklu apartman inşaatı şantiyelerinden birinde bulanık mantık yöntemini kullanarak iş güvenliği risk değerlendirmesi yapılmış, bulanık risk değerlendirmesi sonucu tespit edilen risk öncelik sayılarının HTEA yönteminden elde edilen veriler ile kıyaslamasını yapılarak bulanık mantığın daha güvenilir sonuçlar verdiğini ortaya konulmuştur (Durmaz, 2010).

Mermer blok üretiminde kullanılan elmas tel kesme ve zincirli kollu kesiciyle kesme yöntemlerinde meydana gelebilecek riskler Hata Türü Etki Analizleri (HTEA) ile değerlendirilerek bu iki teknoloji karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda, blok üretim süreci içerisinde elmas tel kesme yönteminin kollu kesiciyle kesme yöntemine göre daha riskli bir yöntem olduğu ortaya konulmuştur [Eleren ve Ersoy, 2011].

Bir manyezit işletmesinde HTEA yöntemini uygulanmış ve 53 adet risk tanımlanmıştır. Bu 53 adet riskten 11 tanesinin RÖS değeri 100'den büyük olduğu için kabul edilemez risk kategorisinde değerlendirilmiştir. En yüksek risk ise gece çalışmalarında aydınlatmanın yetersizliği olarak tespit edilmiştir (Civelekler, 2012).

2.2.3. Hata türü ve etkileri analizinin türleri

HTEA, Tasarım HTEA ve Proses HTEA olarak iki ana gruba ayrılır (Teoh ve Case, 2004). Fakat HTEA yöntemi genellikle dört türde incelenmektedir:

- Sistem HTEA,
- Tasarım HTEA,
- Servis HTEA.,
- Proses HTEA

Sistem ve alt sistemlerin kavram ve dizayn aşamasında analiz edilmesi için Sistem HTEA, ürün tasarımı veya geliştirilmesinde Tasarım HTEA, servisin müşteriye ulaşmadan önce analiz edilmesinde Servis HTEA ve proses tasarımı, işletilmesi veya geliştirilmesinde Proses HTEA kullanılır (Musabeyli, 2004).

2.2.4. HTEA yönteminin öğeleri

HTEA çalışmasında olası hatalar belirlenir, bunların yapabileceği etkiler hesaplanır ve bunların öncelikleri ve de tespit edilebilirlikleri (fark edilebilirlikleri, saptanabilirlikleri) belirlenir. Tüm bunlar belirli bir sistem ve formül çerçevesinde ele alınır. Hata önceliklerini belirlemede üç ana faktör vardır (Wang, Chin, Poon ve Yang, 2009):

- Ortaya çıkma, (Olasılık) (O)
- Şiddet, (Ş)
- Tespit edilebilirlik (Saptanabilirlik, Fark edilebilirlik) (S)

Olasılık tehlikenin gerçekleşme sıklığını ifade etmektedir. Şiddet faktörü bu tehlikenin gerçekleşmesi durumunda ne kadar etki yaratacağını göstermektedir. Saptanabilirlik (fark edilebilirlik) faktörü ise bu tehlikenin gerçekleşmeden önce ne derecede saptanabileceğinin/fark edilebileceğinin ölçüsüdür. Başka bir ifadeyle; saptanabilirlik herhangi bir hatanın, uygulanmakta olan kontrol yöntemleri yardımıyla belirlenebilmesi olasılığıdır (Özfırat, 2014).

HTEA bileşenlerinin değerlerini belirlemede pek çok yöntem vardır. Alishılmış yöntem, nümerik skalaların (risk ölçüt tablosunun) kullanılmasıdır. Risk öncelik sayısı (RÖS), kritiklik sayısı göstergesi olup riskin diğerlerine göre önemini belirtir. RÖS her bir hata türü veya nedeni için ortaya çıkma olasılığı, şiddet ve saptama gibi üç risk faktörü esas alınarak belirlenen sayısal değerdir. RÖS değerinin hesaplanmasında, sözel veya olasılık olarak tanımlanan risk faktörlerinin belirli bir sayı aralığında atanan değerleri alınır. RÖS ile her bir hata türü için riskler tanımlandığından en büyük RÖS' e sahip olandan başlayarak kısa dönemde en aza indirilmesi, uzun dönemde ortadan kaldırılması, için alınacak düzeltici önlemler belirlenir (Yılmaz, 1997). HTEA için RÖS; Olasılık (O), Şiddet (Ş) ve Saptama (S) değerlerinin çarpılması ile bulunur ve Eş. 2.1 ile hesaplanır (Türk Standartları Enstitüsü, [TSE], 2006: 1-42).

$$RÖS = O \times \text{Ş} \times S \quad (2.1)$$

HTEA yönteminin bileşenleri olan olasılık, şiddet ve saptanabilirlik değerlerinin belirlenmesinde, özellikle iş sağlığı ve güvenliğine yönelik yapılan analizlerde Çizelge 2.1., Çizelge 2.2. ve Çizelge 2.3.'te gösterilen skalalar kullanılmaktadır. (Özfarat, 2014; Yılmaz, 1997; Durhan, 2006). Eş. 2.1 kullanılarak elde edilen RÖS değerine göre alınması gerekli önlemlerin belirlenmesi üzerine Stamatis'in yaptığı çalışma ise Çizelge 2.4.'de verilmiştir (Stamatis, 2003).

Çizelge 2.1. Hatanın ortaya çıkma sıklığı, olasılığı ve derecesi

HATANIN OLUŞMA SIKLIĞI	HATANIN OLASILIĞI	DERECE
Çok Yüksek: Kaçınılmaz Hata	1/2 'den fazla	10
	1/3	9
Yüksek: Tekrar Tekrar Hata	1/8	8
	1/20	7
Orta: Ara Sıra Olan Hata	1/80	6
	1/400	5
Düşük: Nispeten Az Olan Hata	1/2000	4
	1/15000	3
Pek Az: Olası Olmayan Hata	1/150000	2
	1/150000' den düşük	1

Çizelge 2.2. Hatanın neden olacağı şiddetin etkisi ve derecesi

ETKİ	(ŞİDDETİN) ETKİSİ	DERECE
Uyarısız Gelen Yüksek Tehlike	Felakete yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen potansiyel hata	10
Uyarısız Gelen Tehlike	Yüksek hasara ve toplu ölümlere yol açabilecek etkiye sahip ve uyarısız gelen potansiyel hata	9
Çok Yüksek	Sistemin tamamen hasar görmesini sağlayan yıkıcı etkiye sahip ağır yaralanmalara, 3. derece yanık, akut ölüm vb. etkiye sahip hata türü	8
Yüksek	Ekipmanın tamamen hasar görmesine neden olan ve ölüme, zehirlenme, 3. derece yanık, akut ölüm vb. etkiye sahip hata türü	7
Orta	Sistemin performansını etkileyen, uzuv ve organ kaybı, ağır yaralanma, kanser vb. yol açan hata	6
Düşük	Kırık, kalıcı küçük iş görmezlik, 2. derece yanık, beyin sarsıntısı vb. etkiye sahip olan hata	5
Çok Düşük	İncinme, küçük kesik ve sıyrıklar, ezilmeler vb. hafif yaralanmalar ile kısa süreli rahatsızlıklara neden olan hata	4
Küçük	Sistemin çalışmasını yavaşlatan hata	3
Çok Küçük	Sistemin çalışmasında kargaşaya yol açan hata	2
Yok	Etki yok	1

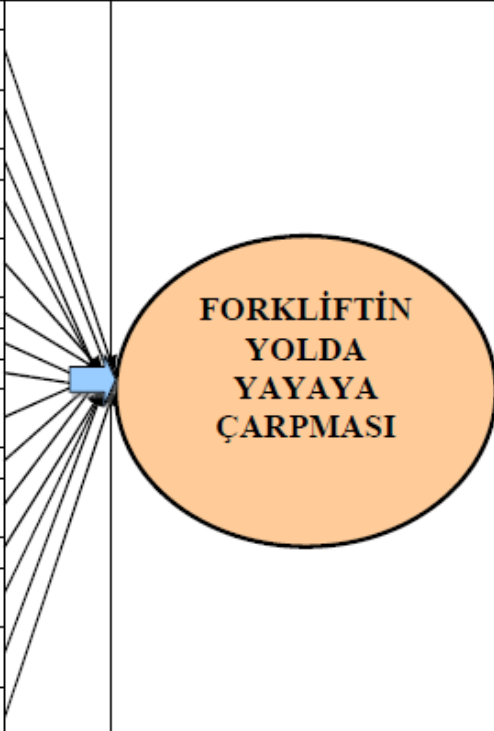
Çizelge 2.3. Saptanabilirlik (tespit edilebilirlik) ve derecesi

SAPTANABİLİRLİK	SAPTANABİLİRLİK OLASILIĞI	DERECE
Fark Edilemez	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği mümkün değil	10
Çok Az	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği çok uzak	9
Az	Potansiyel hatanın nedeninin saptanabilirliği uzak	8
Çok Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği çok düşük	7
Düşük	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği düşük	6
Orta	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği orta	5
Yüksek Ortalama	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği yüksek ortalama	4
Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği yüksek	3
Çok Yüksek	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği çok yüksek	2
Hemen Hemen Kesin	Potansiyel hatanın nedeninin ve takip eden hatanın saptanabilirliği hemen hemen kesin	1

Çizelge 2.4. Risk öncelik sayısına göre alınması gerekli önlemler

RÖS DEĞERİ	ÖNLEM
RÖS <40	Önlem almaya gerek yok.
40≤RÖS≤100	Önlem alınabilir.
RÖS >100	Önlem alınması gereklidir.

Sekil 2.7.'de ise HTEA metodu uygulanmış örnek bir forklift kazasına ait RÖS değerleri gösterilmiştir. HTEA metodu ile olası hata türleri önceden tespit edilerek ve bu hatalara ilişkin olasılık, şiddet ve saptama değerleri atanarak RÖS değerleri elde edilmiş ve değerler önem sırasına göre derecelendirilmiştir. Böylece forklift kazasına neden olabilecek hatalar önceden belirlenerek kaza engellenmiş olmaktadır. Öncelikli risklerin tespit edilmesiyle zamandan ve diğer imkanlardan da tasarruf edilir (Kahraman ve Demirer, 2010).

OLASI HATALAR (Kaza oluşturma potansiyeli)	FMEA SÜZGEÇİ (Olasılık-Ağırlık-Saptama-RÖS)				SONUÇ (Hatanın oluşması-Kaza)
	O	A	S	RÖS	
Yayaların kendilerine ayrılan yoldan gitmemeleri	7	6	3	126	 FORKLİFTİN YOLDA YAYAYA ÇARPMASI
Forklifti kullanan personelin operatör ehliyetinin olmaması	4	5	5	100	
Yayanın dalgın, stresli olması	5	5	3	75	
Operatörün yasal çalışma saatinden fazla çalışması	7	5	3	105	
Operatörün aracı belirlenen hız sınırlarının üzerinde kullanması	3	7	4	84	
Forkliftin tepe lambası çalışmaması	5	4	4	80	
Forkliftin bakım füyü tutulmuyor	7	4	3	84	
Forkliftin lastiklerinin aşınmış olması	6	5	2	60	
Yayalara ait belirlenmiş yolun bulunmaması	3	7	4	84	
Yola ayna konmamış olması	6	5	4	120	
Yolda yağ birikintisi ve zeminin kaygan olması	5	5	3	75	
Forkliftin farlarında problem olması	4	5	2	40	
Forklift operatörünün dalgın, dikkatsiz, stresli oluşu	5	7	3	105	
Yaya yolda yürütken kulaklık ile müzik dinliyor olması	5	7	4	140	
Yaya ve operatör gerekli iş güvenliği eğitimi almanmış olması	5	7	3	105	

Şekil 2.7. HTEA metodu ile yapılmış örnek bir çalışma

2.3. Hata Türleri ve Etkileri Analizinde Bulanık Mantık Kullanılması

Günlük hayatta rastgele kullandığımız birçok kavram genellikle bulanıktır. Başka bir ifadeyle kesinlikten uzaktır. Bir şeyi tanımlama, bir olayı açıklık getirme, komut verme ve gibi durumlarda kullanılan sözel veya sayısal ifadeler bulanıklık içerebilmektedir. Bu kavramlara örnek olarak; yaşlı, genç, uzun, kısa, sıcak, soğuk, ılık, bulutlu, parçalı bulutlu, güneşli, hızlı, yavaş, çok, az, biraz, fazla, çok az, çok fazla gibi daha pek çok sözel terim gösterilebilir. İnsanlar bir olayı anlatıp, bir durum karşısında karar verirken bu tür kesinlik ifade etmeyen kavramlar kullanır. Kişi yaş durumuna göre yaşlı, orta yaşlı, genç, çok yaşlı

ve çok genç olarak tanımlanabilir. Odanın aydınlatması yetersiz ise biraz arttırılır, yeterinden fazla ise biraz azaltılır. Bütün bunlar insan beyninin belirlilik ve kesinlik içermeyen durumlarda nasıl davrandığına ve olayları nasıl değerlendirip, tanımlayıp, komut verdiğine dair birer örnektir (Altaş, 1999).

HTEA yönteminin bileşenleri olan olasılık, şiddet ve saptanabilirlik değerlerinin belirlenmesinde uzmanlar; tecrübe ve bilgi seviyeleri ne olursa olsun, bir belirsizlik ortamı içinde karar vermek zorundadırlar. Verilen bu kararların doğruluğu ise, söz konusu belirsizliğin risk faktörüne yansıtılabildiği oranda olmaktadır. Uzmanlar karar verme aşamasında sezgi, bilgi, tecrübe ve bilime dayalı bir yaklaşımda bulunurlar ve bu yaklaşımlarının sonucunda bir karara varırlar. Bu yaklaşımla elde edilen sonuçlar; doğru veya yanlış, iyi veya kötü, siyah veya beyaz, 1 veya 0 gibi net kararlar olacaktır. Oysa gerçek yaşamda her şey “siyah veya beyaz” gibi net değildir, kimi durumda sonuçlar arasında “gri”lerinde olduğu bilinmektedir. Bu gibi belirsiz durumların nasıl öngörülebileceği ve karar sürecine nasıl doğru bir şekilde dâhil edilebileceğine dair pek çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalar sonucunda bulanık mantık düşüncesi ortaya atılmıştır (Bayar, 2010). HTEA metodunun bu dezavantajlarını gidermek için HTEA metodunun bulanık kümeler yaklaşımıyla ele alınması çeşitli kaynaklarda önerilmektedir (Pillay ve Wang, 2003).

Bulanık Mantık, Aristoteles’ in “sadece doğrular ve yanlışlar vardır” mantığına alternatif olarak ortaya çıkmıştır. Modern teknolojiyle geliştirilen kodlama biçimi olan 0-1 mantığına karşın bulanık mantık, 0 ile 1 arasında sayısız değer olabileceğini ortaya atmaktadır. Klasik mantık 30 °C ‘yi “sıcak” kümesinin sınırı olarak kabul ettiğini düşünelim. Bu mantık ile, 29,9 °C sıcak değildir. Aradaki bu küçük fiziksel fark, klasik mantık için hayati anlam ifade etmektedir. Çünkü bu değerın üyelik kümesi değişmiş ve 29,9 °C “sıcak” olma kümesinden dışlanmışdır. Oysa günlük hayatta bu kadar küçük bir farkın önemi yoktur ve değişimler bu kadar kesin sınırlarla ifade edilmez. Bulanık mantık bu tür keskin sınırları kaldırarak, 29,9 °C yi “hemen hemen” tamamen (1’e yakın bir değerle) sıcak olarak kabul eder. Bulanık mantık fiziksel dünya ile bilimsel dünyanın paralel bakış açısıyla çalışan bir sistemi ortaya atar. Klasik mantık için “soğuk” ya da “sıcak” olma vardır. Bulanık mantık ise “soğuk-sıcak” gibi kavramların yanında, “az soğuk”, “çok sıcak”, biraz sıcak” gibi söylemleri de kabullenir ve bunları matematiksel olarak tanımlamaya çalışır (Sırmakaya, 2005).

Bulanık mantığın en çok geçerli olduğu iki durum vardır. Bunlarda birincisi, incelenen olayın çok karmaşık olması ve bununla ilgili yeterli bilginin bulunamaması hallerinde kişilerin görüş ve değer yargılarına yer verilmesi ihtiyacıdır. İkincisi ise insan kavrayış ve yargısına gerek duyulan hallerdir. İnsan düşüncesinde sayısal olmasa bile belirsizlik, yararlı bir bilgi kaynağı olarak kabul edilir (Özkan, 2006).

Bulanık mantık insanın iki önemli karar verme yeteneğini formülize eder. Birincisi, belirsizlik, bilginin tam olmayışı, kısmen doğru olması, kısmen olası olması, çelişkili bilgi barındırması gibi mükemmel olmayan bilgi varlığında insanın karar verme yeteneğidir. İkincisi ise herhangi ölçüm ve hesaplama olmaksızın farklı mental ve fiziksel problemleri çözme yeteneğidir (Zadeh, 2008).

2.3.1. Bulanık mantığın tarihsel gelişimi

Bulanık mantık ilk olarak 1965 yılında bulanık mantık veya bulanık küme kavramını geliştiren Lotfi A. ZADEH tarafından bulunmuştur (Zadeh, 1965).

Zadeh'in bulanık mantığa ilişkin fikirleri özellikle batı dünyasında şüphe ile karşılanmış ve ciddi bir şekilde eleştirilmiştir. Ancak, 1970 yıllarından özellikle de Japonya'da bulanık mantık ve sistem kavramlarına önem verilmiştir. Bu sistemlerin, teknolojik cihazların fonksiyonlarında ve işleyişinde kullanılması bugün tüm dünyada yaygın bir biçimde tanınmasına öncülük etmiştir. Bulanık kavram ve sistemlerin, dünyanın değişik araştırma merkezlerinin dikkatini çekmesi 1975 yılında Mamdani ve Assilian tarafından yapılan gerçek bir kontrol uygulaması ile olmuştur. Bu çalışmayla, ilk olarak bir buhar makinesi kontrolünün, bulanık sistem ile modellenmesi sağlanmıştır. Bu ön çalışmadan, bulanık sistemlerle çalışmanın ne kadar basit ama sonuçlarının ne kadar etkili olduğu anlaşılmıştır (Şen, 2004). Bulanık mantığın ilk ticari uygulaması 1980 yılında Danimarka'da bir çimento fabrikasının kontrolünde kullanılmıştır. Bu kullanımdan sonra, özellikle uzak doğu ülkeleri olmak üzere başta Japonya, araştırma ve mühendislik uygulamalarıyla bu konuda büyük ilerleme göstermişlerdir (Deniz, 2006; Esin, 2007).

Bulanık sistemlerin elektrikli süpürgeler, çamaşır makineleri, asansörler, metro ve şirket işletimi gibi konularda yaygın bir biçimde kullanılmasında, 1980 sonrasında patlama olmuştur. Son yıllarda birçok mühendislik dallarında, veri tabanlarının

sözelleştirilmesinde, tele sekreterlerin cevaplamasında ve birçok konularda dünyada kullanılır hale gelmektedir. Değişik bilim ve mühendislik konularını yayınlayan uluslararası dergilere bakıldığında, hemen her mühendislik konusunda ve teknolojik çalışmalarda artık bulanık sistem kontrollerinin ve hesaplamalarının yaygınlaştığı görülmektedir (Şen, 2004; Deniz, 2006, Doğan, 2006; Esin, 2007). Bulanık mantığın uygulama alanı bulduğu bazı örnekler Çizelge 2.5.'de verilmiştir.

Çizelge 2.5. Bulanık mantığın kullanıldığı bazı uygulama örnekleri

Ürün	Firma	Bulanık Mantığın İşlevi
Asansör Denetimi	Fujitec –Toshiba Mitsubishi Hitachi	Yolcu trafiğini değerlendirir. Böylece bekleme zamanı azalır.
Otomatik Şanzıman	Honda, Nissan, Subaru	Motor yükü, sürüş tarzı ve yol şartlarına göre uygun vites seçme
Fotokopi Makinesi	Canon	Resim yoğunluğu, sıcaklık ve nem oranına göre dram voltajını ayarlamak
Fotoğraf Makinesi	Canon, Minolta	Ekranda birkaç obje olması durumunda en iyi fokusu ve aydınlatmayı belirler
Bulaşık Makinesi	Matsushita	Bulaşıkların miktarı ve kirlilik derecelerine göre yıkanma ve parlatma stratejilerini ve süresini belirlemek
Çamaşır Makinesi	Matsushita	Çamaşır kirliliğini, ağırlığını, kumaş cinsini sezer, ona göre yıkama programını seçer
Televizyon	Sony	Ekran kontrastını, parlaklığını ve rengini ayarlar
Video Kayıt Cihazı	Panasonic	Cihazın elle tutulması nedeniyle çekim sırasında oluşan sarsıntıları ortadan kaldırır
Klima	Mitsubishi	Ortam koşullarını değerlendirerek en iyi çalışma durumunu algılar, odaya birisi girerse soğutmayı artırır.
ABS Fren Sistemi	Nissan	Tekerleklerin kilitlenmeden frenlenmesini sağlar
Sendai Metro Sistemi	Hitachi	Hızlanma ve yavaşlamayı ayarlayarak rahat bir yolculuk sağlanmasının yanı sıra durma konumunu iyi ayarlar, güçten tasarruf sağlar
Çimento Sanayii	Mitsubishi Chem	Değirmende ısı ve oksijen oranı denetimini yapar

2.3.2. Bulanık kümeler

Bulanık kümeler bulanık mantığın temelindeki yapıtaşdır. Bulanık kümeler, üyelik fonksiyonları ile ifade edilirler. Bulanık mantıkta üyelik fonksiyonları ile elde edilen sayılar bulanık sayılardır.

Klasik kümelerde üyelik ilişkisi üye olma ve üye olmama şeklindedir. Bu yaklaşıma göre bir eleman bir kümenin ya üyesidir veya o kümenin elemanı değildir. Bu tür kümeleri ifade etmekte ise karakteristik fonksiyonlardan yararlanılmaktadır. Karakteristik fonksiyon her bir elemana 1 veya 0 değerlerinden birini üyelik durumuna göre atayarak evrensel küme üzerinde tanımlanan kümeyi belirlemektedir. Klasik küme kavramında, bir X kümesindeki A alt kümesi, kendisine ait karakteristik fonksiyon olan χ_A ile ifade edilmektedir. Buradaki karakteristik fonksiyon X 'in elemanlarını $\{1,0\}$ kümesine dönüştürmektedir. Klasik bir A kümesini karakteristik ifadesi yardımıyla aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkündür (Şentürk, 2006).

$$\begin{aligned} \chi_A : X &\rightarrow \{0,1\} \\ \forall x \in X, \quad \chi_A(x) &= \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Eş. 2.2'den de anlaşılacağı üzere klasik küme yaklaşımında üyelik derecesi eleman hangi kümeye aitse onun değerine almakta aksi halde 0 değerini almaktadır. Klasik küme yaklaşımında kümeler arasındaki geçiş oldukça keskin ve anidir.

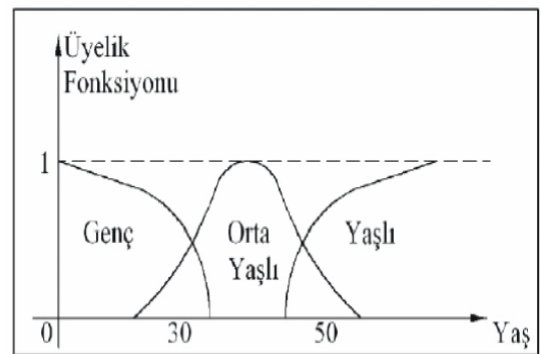
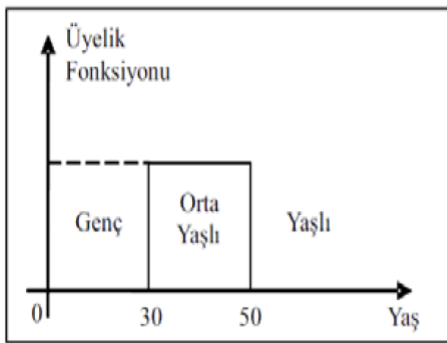
Bulanık küme teorisinde ise, bulanık kümeleri içeren bir evrensel küme içerisindeki elemanların üyelik geçişi dereceli olmaktadır. Eğer bir eleman herhangi bir kümeye ait olacaksa, o elemanın o kümeye ait olma derecesi de söz konusu olmaktadır. Bu derecelendirme bulanık kümelerin sınırlarına belirsizlik özelliğini katmaktadır. Bu sebeple bir elemanın bu kümeye aitliği belirsizliğini ölçmeye yarayan bir fonksiyonla tanımlayabilmektedir. Söz konusu fonksiyon evrensel kümenin elemanlarını belirli bir aralıktaki reel sayılara karşılık getirerek elemanlar arasındaki derecelendirmeyi gerçekleştirmektedir. Küme içerisinde değişkenlerin aldığı yüksek değerler de üyelik derecesinin yüksekliğini göstermektedir. Buradaki fonksiyon üyelik fonksiyonu ve bu fonksiyonun oluşturduğu küme de "Bulanık Küme" olarak ifade edilebilmektedir. X boş olmayan bir küme olmak üzere; X 'teki bir bulanık A kümesini aşağıdaki şekilde ifade etmek mümkün olmaktadır (Şentürk, 2006).

$$\forall x \in X \text{ için ; } \mu_A(x) : X \rightarrow [0,1] \quad (2.3)$$

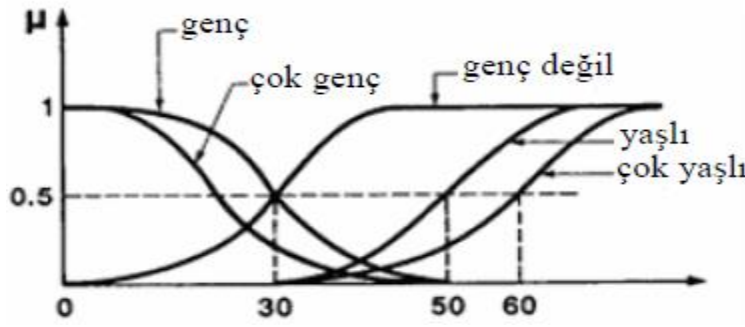
Burada $\mu_A(x)$ 'e, bulanık kümenin üyelik fonksiyonu olarak adlandırılır ve A'nın elemanlarının istenilen özelliği hangi ölçüde sağladığını ifade eder.

Görüldüğü gibi bulanık kümelerde klasik kümelerde olduğu gibi keskin bir ayrım olmayıp, belirlenen kriterler çerçevesinde çok farklı değerler alabilmektedir. Bu durum bir elamanın kısmi üyeliğe yani üyelikten üye olamamaya kademeli bir geçişe imkân sağlamaktadır. Bu özellik sayesinde bulanık mantık kullanılarak belirsiz koşullar altında, belirsizliklerin daha gerçekçi bir şekilde modellenmesi sağlanır.

Örneğin “genç, orta yaş, yaşlı” kavramlarını inceleyelim. Bu kavramlar göreceli kavramlar olup, kişiden kişiye toplumdan topluma farklılık gösterir. Ancak yinede 30 ile 50 yaşları arası orta yaşlılık, 50 ve üzerini de yaşlılık sınırları olarak kabul edilebilir. Klasik küme yaklaşımını kullanarak böyle bir örnek üzerinden gittiğimizde; 29 yaşındaki bir kişi genç, 31 yaşındaki bir kişi ise orta yaşlı ve 49 yaşındaki bir kişi orta yaşlı, 51 yaşındaki bir kişi de yaşlı sınıfına girmektedir. Aynı örnek bulanık küme yaklaşımıyla ele alındığında; 31 yaşındaki bir kişi belli oranda genç, belli oranda orta yaşlı ve 50 yaşındaki bir kişi belli oranda orta yaşlı, belli oranda ise yaşlı sınıfına girebilmektedir. Şekil 2.8.'de bu örneğe ilişkin klasik küme ile bulanık kümedeki gösterimi verilmiştir (Tiryaki ve Kazan, 2007). Bulanık küme yaklaşımında yaş kavramına ait sözel değişkenler ise Şekil 2.9.'da verilmiştir (Zadeh, 1998).



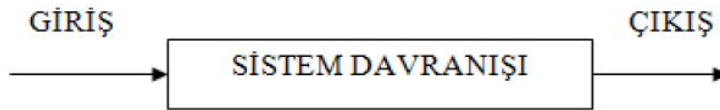
Şekil 2.8. Klasik ve bulanık küme yaklaşımları



Şekil 2.9. Bulanık küme yaklaşımında yaş kavramının sözel değişkenleri

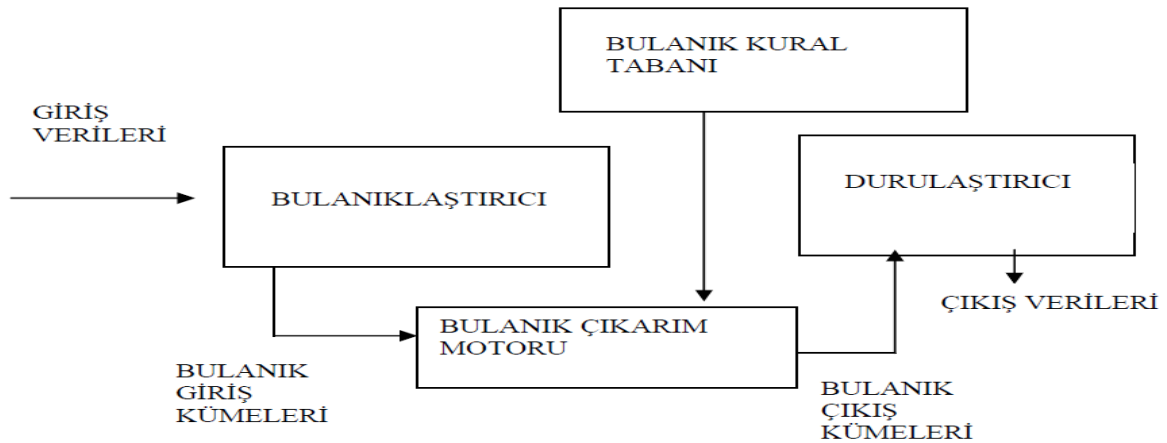
2.3.3. Bulanık sistem

Matematik, olasılıksal/rastgele (stokastik) veya kavramsal sistemlerin hemen hepsi Şekil 2.10.'daki gibi üç bileşenden oluşmaktadır (Şen, 2004).



Şekil 2.10. Klasik sistem bileşenleri

Bulanık sistemde ise klasik yaklaşımdan farklı olarak sistem davranışı kısmı ikiye ayrılmıştır. Bulanık sistemin genel yapısı Şekil 2.11.'de gösterildiği gibi olup kendi aralarında bağlantılı dört birimden oluşmaktadır (Baykal ve Beyan, 2004; Kalkan, 2006; Öztürk, 2008).



Şekil 2.11. Bulanık sistem bileşenleri

Bulanık sistemde bulanıklaştırıcı birimi; kesin girdi değerlerini bulanık değerlere çevirir. Bunun için girdi değerlerini alır, girdi değişken aralığının uygun evrensel kümeye dönüştürülmesini sağlar ve girdi verilerini sözel değerlere (bulanık kümelere) dönüştürür. Bulanık kural tabanı; stratejiyi ve kuralları sözel ifadeler aracılığı ile tanımlamaktadır. Kural tabanı sözel olarak ilgili sistemin modellenmiş hali olarak görülebilir. Veri tabanındaki girişleri çıkış değişkenlerine bağlayan mantıksal EĞER-İSE türünde yazılabilen bütün kuralları içerir. Bulanık çıkarım motoru; bulanık kavramlara dayalı olarak insanın karar verme yeteneğini taklit eder. Ayrıca bulanık içirme ve sözel kuralları kullanan bulanık denetim etkinliklerini uygular. Çıkarım motoru; akıl yürütme işlemini elde etmek üzere uygulanır. Durulama arayüzü ise; bulanık çıktı değerlerini kesin değerlere çevirir (Özkan, 2006).

Bulanıklaştırma

Giriş verilerini, dilsel değişkenlere dönüştürme işlemidir. Üyelik işlevinden yararlanarak giriş bilgilerinin ait olduğu bulanık kümeyi/kümeleri ve üyelik derecesini belirleyip giriş verilerine dilsel değişkenler atar. Sistemin verimli çalışmasını sağlamak amacıyla üçgen, yamuk, çan eğrisi v.b. gibi değişik şekillerde bulanık kümeler seçilebilir (Elmas, 2003).

Üyelik fonksiyonlarının oluşturulması

Bu fonksiyon; dilsel değişkenlerle ifade edilen bölgelerin sınırlarının oluşturulması ve giriş bilgilerine ait üyelik ağırlıklarının belirlenmesidir. Fonksiyonun geometrisi ve özellikleri uzmana bağlıdır ve büyük ölçüde uzmanın tecrübesine ve bilgisine göre değişir. Bu amaçla deneme yanılma metodu da kullanılabilir. Karma bulanık sayı bulanıklaştırma stratejisinde ise, süreçten alınan bilgilerin bir kısmı kesin, bir kısmı istatistikî bilgiler olabilir (Bilgin, 2006).

Bulanık kümelerin kullanılabilirliği, farklı kavramlara uygun üyelik fonksiyonlarını oluşturabilme becerisine dayanmaktadır. Bulanık kümelerin gerek üyelik derecelerinin gerekse, bunların tümünü temsil edebilecek üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde, ilk başlayanlar tarafından bile kişisel sezgi, mantık ve tecrübelerin kullanılmasına sıkça rastlanır. Zaten pratikte birçok sorunun üstesinden gelebilmek için bu yaklaşımlar çoğu zaman yeterlidir. Öyle olmasa bile, ilk yaklaşım olarak bu esaslara göre davranmaları

faydalıdır. Üyelik fonksiyonlarının belirlenmesinde kullanılan başlıca yöntemler; sezgi, çıkarım, derecelendirme, açılı bulanık kümeler, yapay sinir ağları, genetik algoritmalar, çıkarımcı muhakeme gibi yaklaşımlardır (Kıyak ve Kahvecioğlu, 2003).

Bulanık kural tabanı

Bulanık kural tabanı; sistem çıktısı ile ilişkili ölçülebilen giriş değişkenlerinin tespit edilmesi ve bu giriş değişkenlerinin mantıklı kurallarla birbirlerine bağlanarak kural cümlesi oluşturulmasıdır. Bu kural cümlesi arttırıldığında ve tamamlandığında kural tabanı meydana gelir. Kural tabanı çıktı değişkenlerinin alacağı değerlere yön verecek olan tanımlamalardır (Bilgin, 2006). Kural tabanı bulanık sistemin kalbi durumda olmakla birlikte sonuç üzerinde tek başına etkisi yoktur.

Bulanık kural tabanı, atanan ya da ölçülen girdi değişkenleri ile istenilen sonuçlar arasındaki ilişkiyi tanımlayan bir dizi ‘eğer-ise’ kuralından oluşur.

Bulanık kural tabanı, her birisi bir bölgeyi temsil eden dilsel ifadelerle oluşturulur. Örneğin bir yemek sonrası verilecek bahşiş için “yemek lezzetli ve servis hızlı ise bahşiş yüksektir.” gibi bir kural oluşturulabilir. Bu örnekte de görüleceği üzere kural tabanını oluşturan bilgiler, bütünüyle dilsel değişkenlerdir. Ancak bazı kural tabanlarında çıkış değeri sayısal bir değerle de ifade edilebilir. Bu durumda aynı örnek için kural; “yemek lezzetli ve servis hızlı ise bahşiş 10 para birimidir” şeklinde olabilir.

Bulanık çıkarım

Bir girdi, bulanık kural tabanında çıkarım mekanizması sayesinde işleme tabi tutulur. Kural tabanında bilginin modellenme şekline göre eldeki girdiye karşılık gelen çıktı değeri belirlenir. Bu süreç çıkarım ve karar verme sürecidir. Bu aşamada kurallar birleştirilerek hepsinin katkısıyla genel bir sonuç elde edilir (Baykal ve Beyan, 2004).

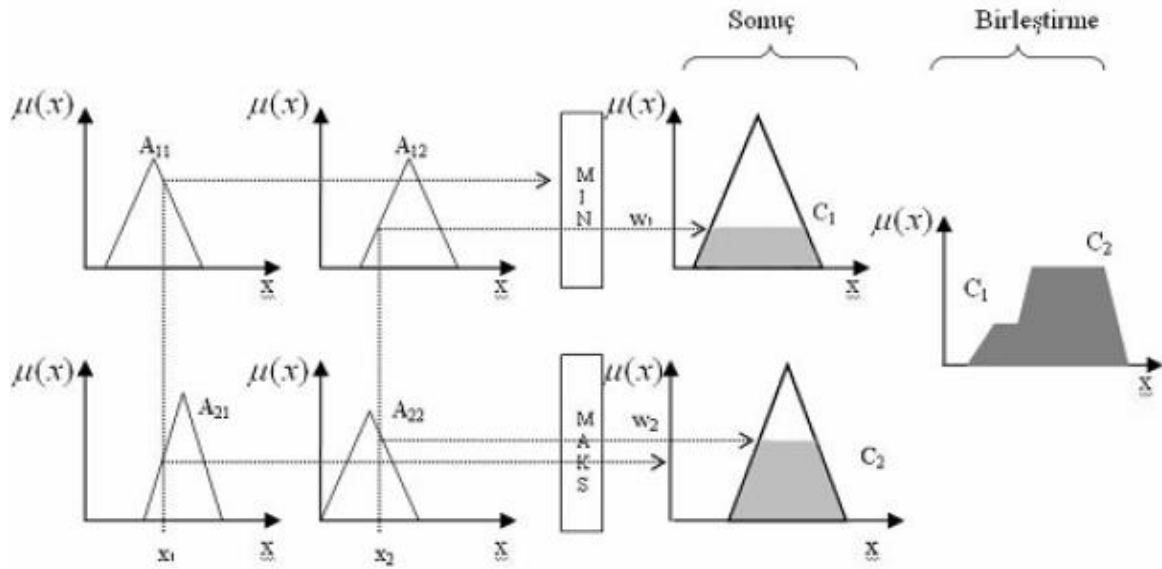
İki veya daha fazla mantıksal ifade VE (AND), VEYA (OR) mantıksal bağlantı işlemcileri kullanılarak birleştirilebilir. Çıkarım aşamasında her mantıksal ifade sonunda bir sonuca bu sonuçların birleştirilmesi ile de nihai sonuç değerine veya nihai sonuç kümesine ulaşılır (Görgülü, 2007).

Bulanık sonuç çıkartma sistemleri için literatürde çeşitli yöntemler önerilmiştir. Bu yöntemlerin başlıcaları; Mamdani'nin önerdiği Mamdani modeli, Sugeno ve arkadaşlarının önerdiği Takagi Sugeno Kang (TSK) modeli ve Tsukamoto modelidir. Bazı çalışmalarda bulanık sonuç çıkarma sistemi, kavram olarak bulanık sistem yerine kullanılmakta ve bulanıklaştırma ile durulama işlemlerini de sisteme dahil etmektedir. Bazı çalışmalarda ise durulama sistemin dışında tutulmaktadır (Kalkan, 2006). Literatürde tanımlanan bulanık sonuç çıkarma sistemleri içerisinde en çok kullanılanı Mamdani bulanık çıkarım yöntemidir. Bu yöntemde tanımlanan kurallar için öncül kısımdaki girdi elemanları çoğunlukla “VE” bağlacı ile harmanlanmakta, tanımlanan kuralların modeldeki çıktısı yine bulanık küme ile ifade edilmektedir (Kuşan, 2009). Şekil 2.12.'de Mamdani yaklaşımı ile bulanık çıkarım yöntemi gösterilmiştir (Bolat, 2006).

Durulaştırma

Pratik uygulamalarda, özellikle cihaz ve mühendislik plan, proje ve tasarımlarında boyutlandırmalar için kesin sayısal değerlere gerek duyulmaktadır. İşte bu durumlara bulanık olarak elde edilmiş veya verilmiş bilgilerden yararlanarak gerekli cevapların verilmesi için bulanık olan bilgilerin durulaştırılması gerekmektedir. İnsanlar için yapay zeka çalışmalarında bulanık değişken, küme, mantık ve sistemler öneme sahip olmasına rağmen, bunların bulanık olabilecek çıkarımlarının kesin sayılar haline dönüştürülmesi gerekir. İşte bulanık olan bilgilerin kesin sonuçlar haline dönüştürülmesi için yapılan işlemlerin tümüne birden “durulaştırma” işlemleri adı verilir. Durulaştırma işlemi sayısal verilerin bulanıklaştırılmasının tersi bir işlem olarak düşünülebilir (Şen, 2004).

Bulanık çıkarım yöntemi kullanılarak elde edilen bulanık sonuçların birleştirilmesiyle bir birleşim kümesi oluşturulur. Bulanık haldeki bu birleşim kümesinin kesin kümeye dönüştürülmesi gerekir. Bu sonucun sisteme tekrar uygulanması için giriş değeri gibi sayısal değere dönüştürülmesi gerekir. Bu işlem durulama olarak adlandırılır. Durulama birimi karar verme biriminden gelen bulanık bir bilgiden bulanık olmayan ve uygulamada kullanılacak gerçek değerlerin elde edilmesini sağlar (Bolat, 2006). Literatürde en çok kullanılan durulaştırma yöntemleri; en büyük üyelik ilkesi, ağırlık merkezi yöntemi, ağırlıklı ortalama yöntemi, ortalama en büyük üyelik yöntemi, toplamaların merkezi yöntemi ve en büyük alanın merkezi yöntemleridir (Yılmaz, 2007).



Şekil 2.12. Mamdani bulanık çıkarım yönteminin gösterimi

2.4. Patlama, Patlayıcı Madde ve Patlayıcı Ortam Kavramları

Güvenlik, endüstri için her zaman önemli bir husus olmuştur. Son yıllarda yaşanan çevre sorunları, yaşanan patlamalar ve toplumsal risklere yönelik kaygılar patlama riskine yönelik analiz yapma ihtiyacını da doğurmuştur. Zira patlama riskinin var olduğu tesislerde olası bir patlamanın etkilerinin ne olacağı bilinirse, alınması gerekli önlemleri belirlemek de mümkün olabilecektir.

Patlayıcı madde üretim sektörü, dünyada ve ülkemizde gerek kullanılan hammadde ve yardımcı maddeler, gerekse üretim yöntem ve şekillerinden kaynaklanan nedenlerden dolayı en riskli sektörlerden biridir. Özellikle piroteknik mamul madde üretim tesisleri başta olmak üzere, 2008 yılından bugüne kadar patlayıcı madde üretim tesislerinde meydana gelen patlama ve yangınlar, 30 kişinin ölümüne, 165'den fazla kişinin yaralanmasına ve tesislerin bir kısmının kullanılamaz duruma gelmesi de dahil çok büyük çapta maddi hasara neden olmuştur. Öte yandan Ocak 2013 ile Ağustos 2014 tarihleri arasında meydana gelen ve patlayıcı madde üretimi dışındaki işyerlerinde gerçekleşen kazalarda ise en az 40 kişi ölmüş, 66'dan fazla kişi yaralanmıştır.

Dünyada ve ülkemizde patlama şeklinde meydana gelen bazı kazalar sırasıyla, Çizelge 2.6. ve Çizelge 2.7.'de belirtilmiştir (Öcelan, 2014). Çizelge 2.8.'de ise 2013-2014 yıllarında ülkemizde patlama şeklinde meydana gelen bazı kazalar gösterilmiştir.

Çizelge 2.6. Dünyada patlama şeklinde meydana gelen bazı kazalar

YIL	YER	OLAY	SONUÇ
1921	Almanya-BASF Oppau	4500 Ton Amonyum Nitrat Patlaması	1500 ölü
1966	Fransa-Feyzin	5 LPG Tankı Patlaması	21 Ölü, 81 yaralı
1974	İngiltere-Flixborough	Kimyasal madde üretim reaktörü patlaması	29 ölü, 100 yaralı, 2000 konut ve işyeri hasarlı
1982	Venezuela-Tacoo	Fuel-oil tankında patlama	153 ölü, 20.000 yaralı
1984	Meksika-M. City	Propan patlaması	650 ölü, 4000 yaralı
2000	Hollanda-Enschede	Havai fişek fabrikası patlaması	21 ölü, 500 yaralı
2001	Fransa-Toulouse	300 ton Amonyum Nitrat patlaması	30 ölü, 2500 yaralı
2010	ABD-Meksika Körfezi	Deepwater Horizon petrol arama platformunda patlama	11 ölü, çok büyük çevre felaketi
2013	ABD-Texas	Gübre fabrikasında patlama	15 ölü, 160 yaralı
2013	Ukrayna-Donetsk	Amonyak fabrikasında patlama	5 ölü, çok sayıda yaralı
2013	Vitnam	Havai fişek üretim fabrikasında patlama	6 ölü, maddi hasar

Çizelge 2.7. Ülkemizde patlama şeklinde meydana gelen bazı kazalar

YIL	YER	OLAY	SONUÇ
1997	Kırıkkale-MKE	Mühimmat fabrikasında patlama	Şehrin tahliyesi, büyük maddi hasar
2002	Kocaeli-AKÇAGAZ	LPG dolum tesisinde yangın ve patlama	3 yaralı, 3 milyon lira zarar
2008	Kırıkkale-MKE	Barut fabrikasında patlama	3 ölü, 30 yaralı
2008	Davutpaşa	Piroteknik madde üretim atölyesinde patlama	21 ölü, 117 yaralı
2009	Adapazarı-Hendek	Piroteknik madde üretim tesisinde patlama	1 ölü
2010	Adapazarı-Hendek	Piroteknik madde üretim tesisinde patlama	1 ölü
2011	Batman	LPG dolum tesisinde patlama	3 ölü, büyük çapta maddi hasar
2011	Ankara-Ostim-İvedik	CNG tüplerinde patlama	20 ölü, çok sayıda yaralı
2011	Adapazarı	Piroteknik madde üretim tesisinde patlama	1 ölü, 8 yaralı
2012	Afyonkarahisar	Askeri cephanelikte patlama	25 ölü

Çizelge 2.7. (devam) Ülkemizde patlama şeklinde meydana gelen bazı kazalar

2013	Elmadağ-MKE	Sevk barutu üretim atölyesinde patlama	2 ölü, 4 yaralı
2013	Sakarya	Piroteknik madde üretim tesisinde patlama	6 yaralı, tesisin %85'i kullanılamaz halde, büyük çapta maddi hasar
2013	Kırıkkale-MKE	Patlayıcı madde deposunda patlama	3 adet depo kullanılamaz durumda, önemli maddi hasar
2014	Elmadağ-MKE	Barut üretimi sırasında patlama	3 kişi yaralı
2014	Kahramanmaraş	Poligonda patlama	1 ölü, 7 yaralı
2014	Diyarbakır-Lice	LPG tankerinin devrilmesi sonrasında patlama	33 ölü, çok sayıda yaralı

Çizelge 2.8. 2013-2014 yıllarında ülkemizde patlama şeklinde meydana gelen bazı kazalar

YIL	YER	OLAY	SONUÇ
2013	Tekirdağ	Kimya fabrikasında patlama	3 yaralı
2013	İstanbul-Tuzla	Tersanede kaynak yapımı sırasında patlama	1 ölü
2014	İzmir	LPG tüp bayisinde patlama	Büyük maddi hasar
2014	Kocaeli	Trafo kazanı üreten fabrikada patlama	2 yaralı
2014	Kayseri	Halı fabrikasında patlama	3 yaralı
2014	Tekirdağ	Döküm fabrikasında patlama	1 ağır toplam 7 yaralı
2014	Kastamonu	Bir binanın alt katında bulunan LPG tüp bayisinde patlama	2 ölü, 4 yaralı. Bina kullanılamaz durumda
2014	Kayseri	Fırın imalatı yapan fabrikada patlama	8 yaralı
2014	Kahramanmaraş	Poligonda patlama	1 ölü, 7 yaralı
2014	Denizli	Unlu mamuller üreten bir işyerinde patlama	1 ölü, 20 yaralı
2014	İstanbul-Zeytinburnu	Bir binanın bodrum katında bulunan ambalaj imalathanesinde patlama	3 ölü, 8 yaralı
2014	Kırklareli	Çakmak gazlarının depolandığı işyerinde patlama	6 yaralı
2014	Bursa	Tekstil fabrikasında patlama	5 yaralı
2014	Diyarbakır-Lice	LPG tankerinin devrilmesi sonucu patlama	33 ölü, çok sayıda yaralı

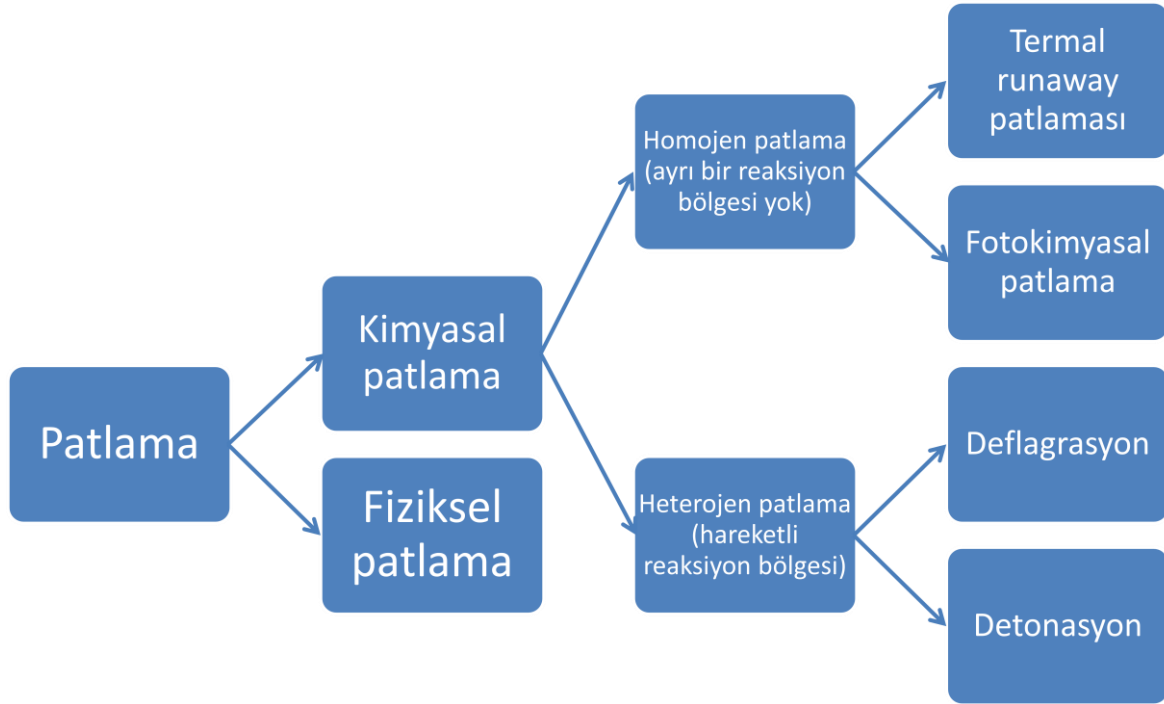
Patlayıcı madde üretim tesislerindeki patlama riski farklı şekillerde ortaya çıkabilir. Bunlardan biri proseste kullanılan yanıcı sıvılardan kaynaklanmakta iken bir diğeri ise, patlayıcı madde üreten veya depolayan işyerlerinde kullanılan patlayıcı maddelerin

kendiliğinden veya bir tutuşturucu kaynak varlığında atmosferik oksijen ihtiyacı olmaksızın ani gaz yayılımı ile patlama şeklidir.

2.3.4. Patlama

Patlama hızlı ve şiddetli bir enerji boşalmasıdır. Patlamanın şiddeti ne tür bir enerjinin boşaldığıyla ilgilidir. Patlamaya neden olabilecek birçok enerji kaynağı vardır. Bu enerji kaynaklarının üç temel çeşidi; kimyasal enerji, fiziksel enerji ve nükleer enerjidir. Fiziksel enerji, basınç altında sıkıştırılmış bir gaz şeklinde düşünülebilirken, gerilmiş bir metalde var olan enerji veya termal enerji olarak da değerlendirilebilir. Kimyasal enerji, bir kimyasal reaksiyonla ortaya çıkan enerji şeklindedir (Mannan, 2014: 258). Nükleer enerji ise tez kapsamında olmadığından değinilmeyecektir. Şekil 2.13.'de bazı patlama tipleri verilmiştir (Ahmed, 2012).

Enerji açığa çıkaran birçok kimyasal reaksiyon vardır. Bunlar ekzotermik reaksiyonlar olarak bilinir. Eğer bir reaksiyon yavaş bir şekilde meydana gelirse, açığa çıkan enerji hemen kaybolarak sıcaklığın bir miktar artmasından başka gözlemlenebilir bir etki meydana getirmeyecektir. Öte yandan eğer bir reaksiyon çok hızlı bir şekilde meydana gelirse ortaya çıkan enerji dağılamayacaktır. Böylece çok büyük bir enerji, görece olarak küçük bir hacimde toplanacak, sonrasında ise bu enerji sıcak gazların hızlı bir şekilde genişlemesiyle şok dalgası oluşturacak veya yüksek hızda şarapnel etkisi oluşumuna neden olacaktır. Kimyasal patlamaları diğer ekzotermik reaksiyonlardan ayıran şey, kimyasal reaksiyonların çok hızlı bir şekilde meydana geliyor olmasıdır. Bunun yanı sıra kimyasal patlamalarda ortaya çıkan enerji mekanik enerjiye dönüşür. Bu enerjinin dönüşümü reaksiyon sonucu açığa çıkan gaz ürünlerinin genişlemesi yoluyla olur. Eğer gaz fazında ürün oluşturulamazsa enerji, oluşan üründe ısı olarak kalır.



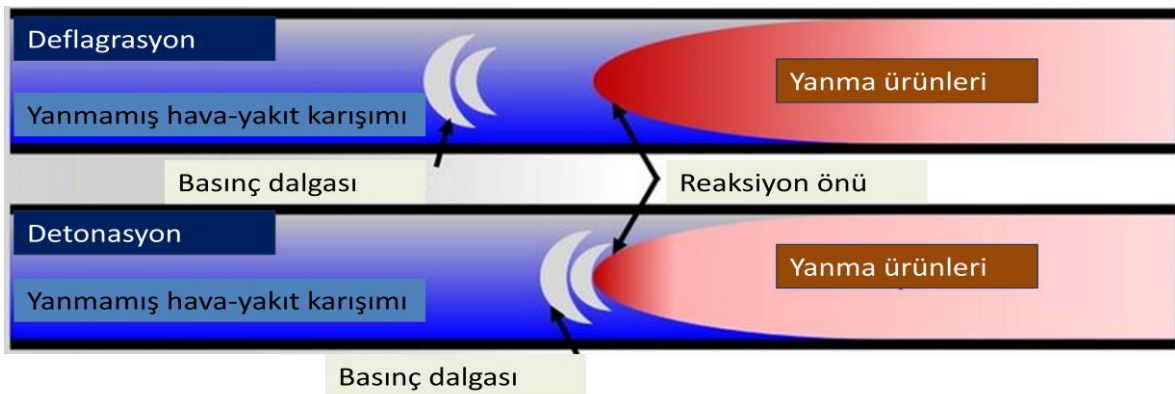
Şekil 2.13. Bazı patlama tipleri

Kimyasal patlamaların iki temel şekli vardır. Bunlar deflagrasyon ve detonasyon olarak bilinir. Deflagrasyonda yanma hızı ses hızının altında olup çoğunlukla 1-100 m/s arasındadır. Detonasyonda ise alev, şok dalgası halinde ve ses hızından daha hızlı hareket eder. Bu hız 2000-8000 m/s mertebelerine kadar çıkabilir. Detonasyonda, yanma dalgası da bu şok dalgasıyla beraber hareket ederek şok dalgasının devamlılığını sağlar. Detonasyon deflagrasyona göre çok daha fazla basınç ve yıkıcı etki oluşturur. Örneğin kapalı bir hacimde hidrokarbon hava karışımı 8 bar civarında basınç oluştururken, detonasyonda basınç 20 bar olabilmektedir (Mannan, 2014: 258). Deflagrasyonda patlayıcı maddenin dekompozisyonu, patlayıcı maddenin içinden yavaşça hareket ederek geçen alev önünün yayılması şeklinde olur.

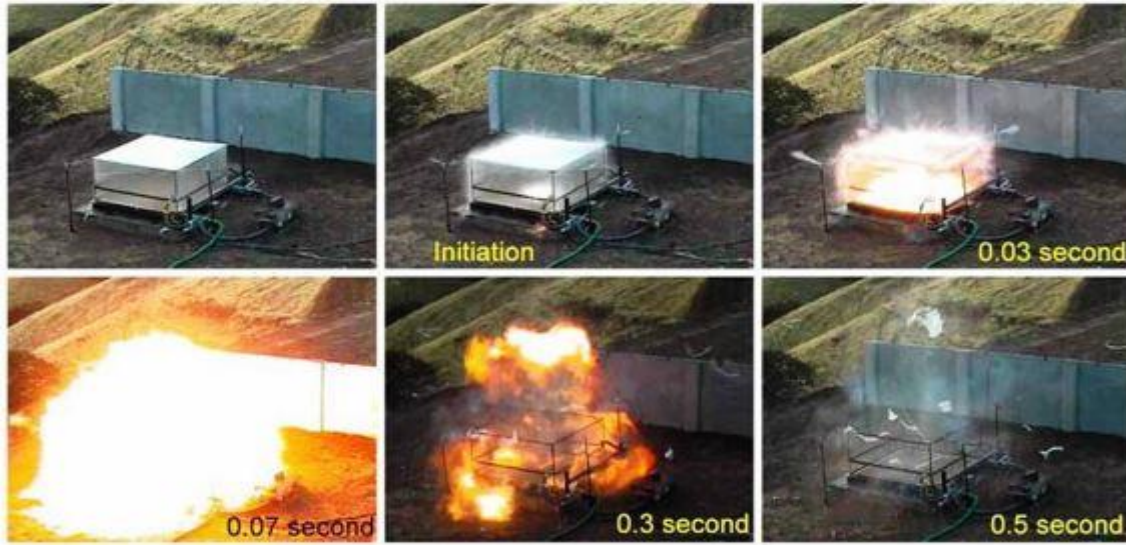
Detonasyon dalgası, yanma dalgasının bir çeşidi olmasına rağmen genelde yanma dalgası deflagrasyon olarak kabul edilir. Detonasyon dalgası esasında, dalgada var olan ve oldukça sıkıştırılmış patlayıcı ortamdaki kimyasal reaksiyonun enerjisi tarafından oluşturulur. Bu yüzden deflagrasyon bir kimyasal reaksiyon tarafından idame edilen ses hızının altında bir dalga iken, deflagrasyonun aksine detonasyon; ses hızının üstünde bir dalgadır. Normal bir mantıkla yanma dalgası alev olarak tanımlanabilir ve yanma dalgası, alev ve deflagrasyon birbirlerinin yerine kullanılabilir (Glassman, Yetter, ve Glumac, 2008: 255-256).

Deflagrasyonda, dekompozisyon reaksiyonunun yanmayan bölgeye iletimi termal iletkenlik yoluyla olurken detonasyonda bu iletim şok dalgası yoluyla olur. Bu sebeple detonasyon prosesinde şok dalgası, yanmayan patlayıcı ortamın içinden çok hızlı bir şekilde geçerek yanmayan bu bölgenin de birden tutuşmasına neden olur.

Detonasyon sıvı ve katı haldeki patlayıcı maddelerde ve patlayıcı gaz ortamlarında meydana gelebilir. Detonasyonda patlama dalgası, patlayıcı maddenin içinden geçer. Patlama dalgası bir geçiş süreci şeklinde gelişir. Bu geçiş başlangıçta sabit basınçta olan bir borudaki alevlenir gaz-hava karışımının yanması şeklinde düşünülebilir. Eğer tutuşma meydana gelir ve enerji bir uçtan diğer uca doğru hareketlenirse yanan gaz genişler. Deflagrasyon dalgasının önü, alev hızında hareket eder ki bu alev hızı, yanma hızı ile yanan gazın hızları toplamına eşittir. Eğer alev hızı yeterince düşükse yanma sabit basınç altında devam eder. Alev hızı yeterince yüksek ise momentum değişimi önemli bir etkiye neden olur ve basınç türbülansı oluşur. Bu durumda alevin ön yüzü hızlanır ve yanma dalgası şok dalgasına dönüşür. Alev ön yüzünün daha fazla hızlanması deflagrasyonun detonasyona dönmesine neden olur. Bu durumda detonasyon dalgası yanmayan gaz içinden geçerek ses hızından daha yüksek bir hızda hareket eder (Mannan, 2005: 17/6). Şekil 2.14.'de deflagrasyon ve detonasyon süreci, Şekil 2.15.'de, bir deflagrasyon deneyine ait fotoğraflar ve Şekil 2.16.'da ise bir detonasyon deneyine ait fotoğraf gösterilmiştir (Hauschild, 2012).



Şekil 2.14. Deflagrasyon ve detonasyon süreci



Şekil 2.15. Bir deflagrasyon deneyine ait fotoğraflar

Patlayıcı maddeler detone olduklarında moleküller bağlarından kırılarak kendini oluşturan ürünlere dönüşür. Bu ürünler su buharı, azot, karbondioksit, azot oksitler ve karbondur. Detonasyondan sonra karbon zeminde kalarak siyah bir nokta oluşturur ve rahatlıkla görülür. Ancak patlayıcı madde miktarı fazla ise toz ve çeşitli kirliliklerden dolayı bu siyah nokta görülemez. Örneğin el bombası patladığında net bir siyah nokta görülür. TNT detone olduğunda, Detonasyon ürünleri havada dağılır ve karakteristik bir azot oksit kokusu kalır. Bu koku çoğu zaman patlamadan hemen sonra fark edilebilir. Çoğu patlayıcılar patladıklarında benzer şekilde karakteristik koku bırakırlar ancak bazı patlayıcılar da böyle bir durum söz konusu değildir. Örneğin civa fülminat, kurşun azüdü, nitrogliserin ve amonyum nitrat herhangi bir azot oksit oluşturmazlar (Legrard, 2007: 2-3).



Şekil 2.16. Bir detonasyon deneyine ait fotoğraf

Detonasyon şeklinde meydana gelen patlamalarda aşağıdaki şartlar sağlanmalıdır (Alkan, 2006).

- Patlayıcı maddelerin moleküllerinde potansiyel formda bulunan büyük miktardaki enerji serbest kalmalı.
- Enerjinin serbest kalma hızı yanma gazlarının genişleme hızından yüksek olmalı.
- Açığa çıkan enerjinin yanma gazları genişleyemeden gazlara aktarılarak, bu gazların sıcaklık ve basınçlarını aşırı arttırmalı.
- Ortama göre aşırı sıcak ve basınçlı gazlar genişleyerek büyük mekanik kuvvetler oluşturmali.

2.3.5. Patlayıcı madde

Patlayıcı madde, kendisine ısı verildiğinde veya şok uygulandığında çok hızlı bir şekilde ısı ve gaz veren kimyasal bileşim veya karışımdır. Ancak, belirtilen özelliklerden yalnızca bir kısmını karşılayan maddeler patlayıcı olarak tanımlanamaz. Örneğin azot ve oksijen, çok hızlı bir şekilde reaksiyona girerek infilak ürünü olarak gaz halindeki azot oksit'i verir. Ancak reaksiyon esnasında ısı verilmesi yerine çevreden ısı alınması nedeniyle, patlayıcı olarak tanımlanmaz. Bir maddenin patlayıcı olabilmesi için; gaz meydana getirmesi, ısı vermesi, reaksiyonun ani olması ve reaksiyonun şok veya ısı ile başlaması şartlarını sağlaması gerekmektedir (Alkan, 2006). Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmeliğe göre ise patlayıcı madde atmosferik oksijen olmadan da ani gaz yayılımı ile ekzotermik reaksiyon verebilen ve/veya kısmen kapatıldığında ısınma ile kendiliğinden patlayan veya belirlenmiş test koşullarında patlayan, çabucak parlayan katı, sıvı, macunumsu, jelatinimsi haldeki maddelerdir. Patlayıcı maddelere verilecek tipik örnek TNT (trinitroluen) ve dinamittir.

Patlayıcı maddeler, kimyasal yapılarına, üretim şekillerine, yanma hızlarına, kullanım amaçlarına göre değişik başlıklarda sınıflandırılırlar. Bunlardan en yaygın sınıflandırma güçlü veya zayıf patlayıcılar şeklindedir. Her ikisi de farklı basınç dalgaları ve çevrelerine farklı tesirler yaratırlar. Patlayıcıların güçlü ve zayıf patlayıcılar şeklinde sınıflandırmalarında ana ölçüt detonasyon (infilak) hızıdır (Alkan, 2006). Bu sınıflandırma da yer almayan bir de piroteknik maddeler vardır. Bu maddeler; infilak edici olmayan,

kendiliğinden ekzotermik reaksiyonların bir sonucu olarak, ısı, ışık, ses, gaz veya duman ya da bunların kombinasyonu yoluyla bir etki yaratmak amacıyla tasarlanan bir madde ya da maddelerin karışımı olarak tanımlanırlar (Söylemez, 2006).

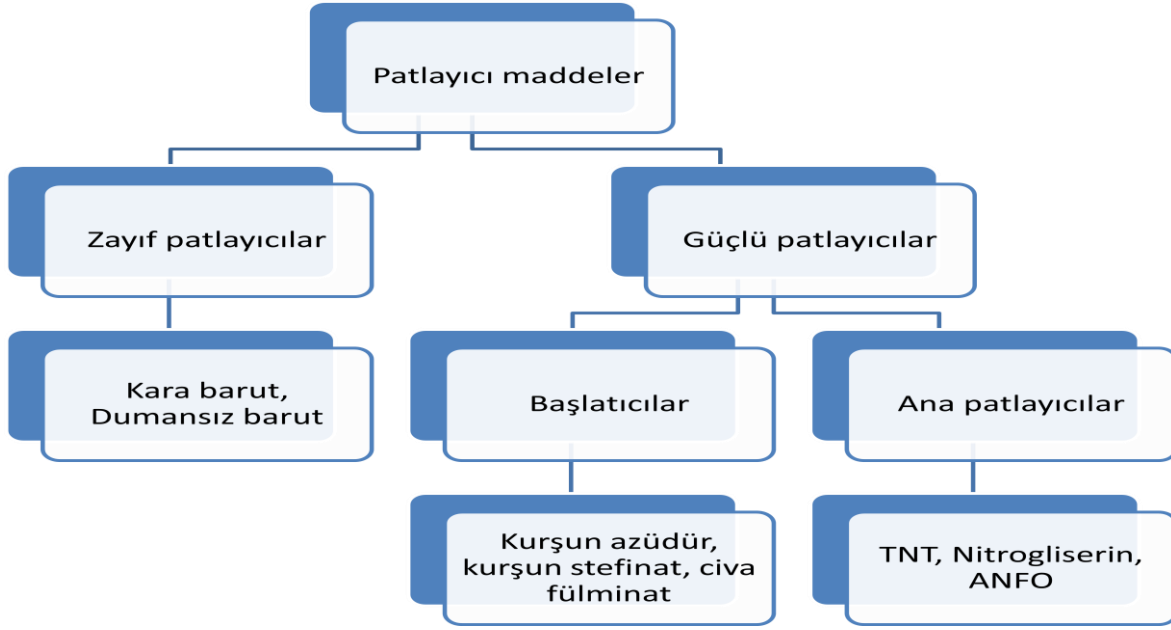
Güçlü patlayıcılar

Güçlü patlayıcılar ses dalgasından daha hızlı bir şekilde yayılırlar. Bir detonasyon dalgası (blast dalga) oluşturarak patlarlar. Detonasyon hızları 1000 m/s ile 8500 m/s arasında değişmektedir. Güçlü patlayıcılar açık alanlarda dahi ses hızından çok daha hızlı bir şekilde kendisini oluşturan ürünlere dönüşerek detonasyon şeklinde patlarlar. Genel olarak güçlü patlayıcılar hassasiyetleri göz önünde bulundurularak, başlatıcılar (hassas patlayıcılar) ve ana patlayıcılar (başlatıcı olmayanlar) şeklinde iki grupta toplanır. Isı, sürtünme ve darbeye karşı aşırı derecede hassas olan başlatıcılar grubuna örnek olarak kurşun azüdü, kurşun stefinat, tetrazen ve civa fülminat verilebilir. Bu maddelerin saf halde taşınması, depolanması özel şekillerde yapılır. Tahrip kapsülleri, füyeler ve askeri mühimmatlarda yaygın olarak kullanılmaktadır ve bunların asıl amacı detonatör görevi görerek ana patlayıcıları patlatmak için gerekli şok dalgasını oluşturmaktır. Isı, sürtünme ve darbeye daha az hassas olan ve ana patlayıcı grubuna örnek olarak TNT, Nitrogliserin PETN, RDX, ANFO, emülsiyon patlayıcılar ve ticari dinamit verilebilir (Alkan, 2006).

Zayıf patlayıcılar

Dış taraftan merkeze doğru yanarak ani bozunmaya uğrayan maddeler düşük hızlı ve zayıf patlayıcılar olarak sınıflandırılır. Düşük hızlı patlayıcılar genellikle taneler halinde üretilirler ve sevk yakıtı(barutu) olarak kullanılırlar. Zayıf patlayıcılar güçlü patlayıcılara kıyasla daha yavaş enerji açığa çıkarırlar. Detonasyon hızları 400 m/sn ile 1000 m/sn dir. Şok, ısı ve sürtünmeye karşı güçlü patlayıcılara göre daha az hassatırlar. Bu patlayıcılara örnek olarak kara barut ve dumansız barut verilebilir. Açıkta yakıldıklarında büyük çoğunlukla süratle yanarken, kapalı kaplar içerisinde ise infilak ederler (Alkan, 2006).

Şekil 2.17.'de patlayıcı maddelerin sınıflandırılması görülmektedir.



Şekil 2.17. Patlayıcı maddelerin sınıflandırılması

Farklı kimyasal yapıları ve spesifik enerjilere sahip patlayıcı maddeler kullanılırken, ya da patlama etkisi değerlendirilmeleri yapılırken uygulama birliği ve kolaylık sağlamak amacıyla birbirleri ile karşılaştırılır. Bu karşılaştırma için gereken referans patlayıcı madde, TNT olarak kabul edilmiştir. İleriki bölümlerde de görüleceği gibi patlayıcı maddelerin etkilerini tahmin için geliştirilen grafiklerde yalnızca referans alınan TNT patlayıcı maddesine ait değerler ve hesaplamalar vardır. Başka bir patlayıcı ile çalışılacak ise, Çizelge 2.9.'da belirlenmiş olan dönüşüm değerleri kullanılmaktadır. Dönüşümlerde kullanılması tavsiye edilen bu değerlere “Nispi Etkinlik Faktörleri” ya da “Patlayıcı Maddelerin TNT Eşdeğerlikleri” adı verilmiştir. Nispi etkinlik faktörü, belli miktardaki patlayıcı maddenin oluşturduğu enerjiye, eşdeğer miktardaki TNT patlayıcı maddesinin oluşturduğu enerji kıyaslanarak yapılmaktadır. TNT ile kıyaslanan patlayıcı maddelerin eşdeğerliği, patlayıcı maddenin miktarı dışında, patlayıcı maddenin şekli, sıkılama, patlama yeri ve ortam özellikleri, dikkate alınan basınç aralığı gibi diğer faktörlere de bağlıdır (Alkan, 2006).

Çizelge 2.9. Bazı patlayıcı maddelerin TNT Eşdeğerlikleri

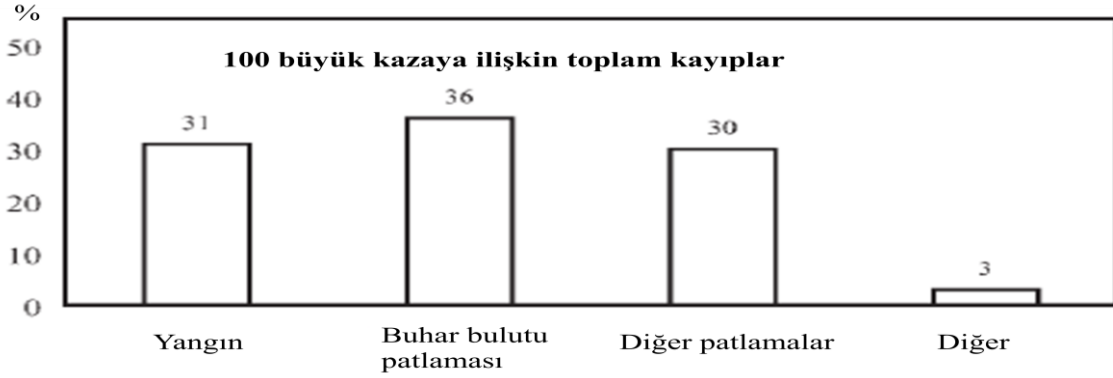
Patlayıcı Madde	Bileşenler	TNT Eşdeğerliği
TNT		1,00
Amatol 80/20	AN - 80% TNT - 20%	1,30
Amatol 60/40	AN - 60% TNT - 40%	1,28
Amatol 50/50	AN - 50% TNT - 50%	1,24
Amonyum Nitrat (AN)		0,56
ANFO	AN - 94% Fuel Oil - 6%	0,52
Kara Barut	Potasyum Nitrat - 74%	0,50
Bileşim A-3	RDX - 91% Balmumu - 9%	1,35
Bileşim C	RDX - 88,3% Plastikleştirici - 11,7%	1,20
Bileşim C-2	RDX - 78,7% DNT - 12% TNT - 5% MNT - 2,7% NC - 0,6% Çözücü - 1%	1,26
Bileşim C-3	RDX - 77% TNT - 4% Nitrotoluen - 5% Tetryl - 3% DNT - 10% NC - 1%	1,34
Bileşim C-4	RDX - 91 Plastikleştirici - 9%	1,37
Nitroselüloz (NS)		1,25
Nitrogliserin		1,40
PBX-9025	RDX - 92% Bağlayıcı - 8%	1,38
Pentolit 50/50	PETN - 50% TNT - 50%	1,26
Pentolit 10/90	PETN - 10% TNT - 90%	1,26
PETN		1,66
Pikrik asit		1,12
RDX		1,50
Tetrit		1,30

2.3.6. Patlayıcı ortam

Patlayıcı madde üretim tesislerinde yalnızca patlayıcı maddeler değil aynı zamanda hammadde olarak kullanılan yanıcı sıvılarda kullanılmaktadır. Bu sebeple patlayıcı madde üretim tesislerinde kullanılan yanıcı veya alevlenir sıvılardan kaynaklanabilecek patlamalar da bu tezin kapsamındadır.

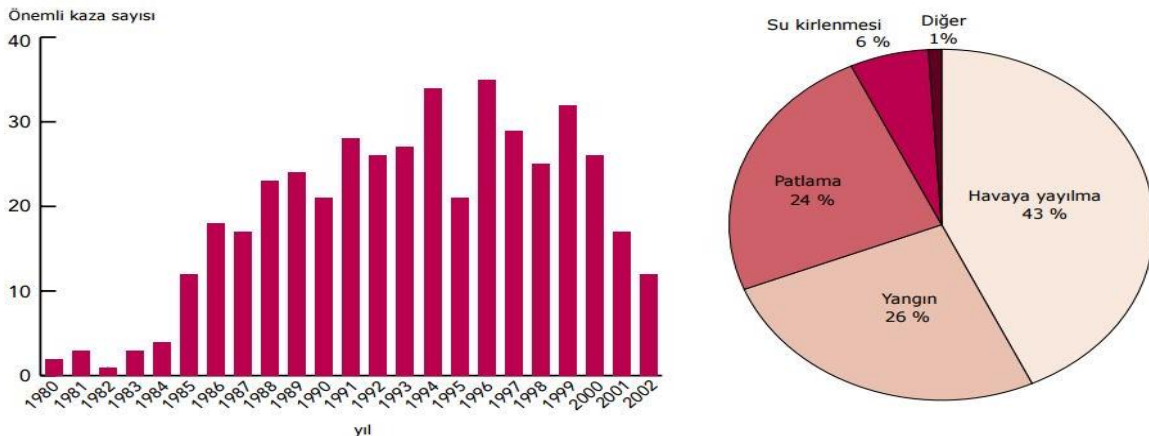
Patlayıcı madde üretim tesisleri başta olmak üzere proses endüstrilerinde patlamalar ender görülmesine rağmen can kayıpları, çevre hasarları, tesisin zarar görmesi, prestij kayıpları gibi sonuçlar dikkate alındığında etkileri oldukça ciddidir. Patlamaların neden olduğu maliyet diğer kayıpların neden olduğu maliyetten çok daha fazladır. Şekil 2.18.'de 100 büyük kazaya ilişkin yapılan bir analiz gösterilmektedir (Crowl, 2003: 25). Bu analizde 100 büyük kaza neticesinde oluşan toplam maliyetin %36'sını buhar bulutu patlaması,

%31'ini yangın ve %30'unu ise buhar bulutu patlaması dışında kalan patlamaların (patlayıcı maddeler, fiziksel patlamalar v.b.) oluşturduğu görülmektedir. Yapılan bu çalışmadan da anlaşılacağı üzere endüstride patlamalar özellikle de buhar bulutu patlamasının neden olacağı diğer kaza türlerinin neden olacağı maliyetten oldukça fazladır.



Şekil 2.18. 100 büyük kazanın kaza çeşidine göre maliyet yüzdesi

Şekil 2.19.'da 1980-2002 yılları arasında Avrupa'da yaşanan önemli endüstriyel kazaların sayısı ve bu kazaların türüne göre dağılımı bulunmaktadır. Şekil 2.19. incelendiğinde 1980-2002 yılları arasında Avrupa'da yaşanan büyük endüstriyel kazaların %50'sinin yangın ve patlamalarla ilgili olduğu görülmektedir. Havaya yayılan tehlikeli maddeler endüstriyel kazaların hemen hemen yarıya yakınıni oluştururken, su kirlenmesi kazaların yalnızca %6'lık bölümünde görülmektedir. Endüstriyel kazaların oluşma nedeni incelendiğinde, ana nedenin mekanik arızalar olduğu, hemen ardından da özellikle organizasyonel bağlamda insan faktörünün geldiği görülmektedir (Avrupa Çevre Ajansı, 2003: 39-41).



Şekil 2.19. Avrupa'da meydana gelen önemli endüstriyel kazaların sebeplerine göre dağılımı 1980-2002

Yanıcı maddelerin hava ile oluşturdıkları karışımlara patlayıcı ortam denilmektedir. Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelikte patlayıcı ortam; yanıcı maddelerin gaz, buhar, sis ve tozlarının atmosferik şartlar altında hava ile oluşturduğu ve herhangi bir tutuşturucu kaynakla temasında tümüyle yanabilen karışımlar olarak tanımlanır.

Tanımdan anlaşılacağı üzere patlayıcı ortamın oluşabilmesi için üç gerekliliğin bir arada bulunması zorunludur. Bunlar; yakıt, oksitleyici madde ve tutuşturucu kaynaktır. Eğer bu üç bileşen mevcutsa bir patlama meydana gelebilir. Şekil 2.20.'de gösterilen bu üç bileşenden biri uzaklaştırıldığında ise patlamanın gerçekleşmesi mümkün olmayacaktır (Commission of the European Communities, 2003: 4).

Gerçekte patlayıcı ortamın oluşması için yakıt ve oksitleyici maddenin belirli konsantrasyon aralığında (LEL ve UEL arasında) bulunması gerekir. LEL; (Lower Explosion Limit) havadaki yanıcı gaz veya buhar yoğunluğunun gaz ortamının patlamasına yol açmadığı alt sınır olarak tanımlanırken, UEL; (Upper Explosion Limit) havadaki yanıcı gaz veya buhar yoğunluğunun gaz ortamının patlamasına yol açmadığı üst sınır olarak tanımlanır. (Burke, 2003: 124). Tutuşturma kaynağının ise yanmayı başlatabilecek yeterli enerjiyi verebilmesi gereklidir. Yanma üçgeni katı, sıvı ve gaz haldeki maddelere uygulanır. Bununla beraber sıvıların ve gazların yanabilmesi için öncelikle gaz fazına geçmeleri gerekir.

Yanma üçgeninde oksitleyici genellikle havadaki oksijendir. Ancak flor, klor gibi gazlar; peroksitler, kloratlar gibi sıvılar; amonyum nitrat ve bazı metallerinde oksitleyici olabileceği bilinmelidir. Etilen oksit ve asetilen gibi maddeleri için oksijen olmadan gerçekleşen ekzotermik dekompozisyon da olasıdır (Crowl, 2003).



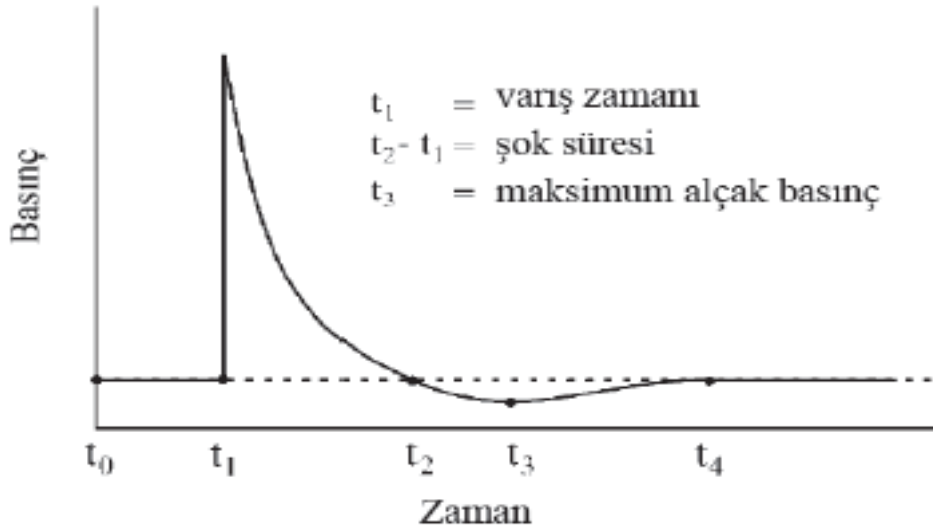
Şekil 2.20. Patlama üçgeni

Patlama çok hızlı bir enerji salınımı sonucu oluşur. Bu enerji basınç basınç dalgası oluşumu, parça fırlamaları, termal radyasyon, ses enerjisi gibi farklı mekanizmalar ile dağıtılır. Bir gaz patlaması meydana geldiğinde patlama enerjisi gazın hızlı bir şekilde genişlemesine neden olur, bu durum etrafı çevreleyen gazı ötelir ve infilak kaynağından bir basınç dalgasının dışarı doğru hızlıca hareket etmesini sağlar (Crowl, 2003). Basınç dalgası kendisini çevreleyen atmosferde basınç, yoğunluk ve hız gibi, geçici gaz dinamiği hal değişikliğine uğrar. Patlamanın oluşturduğu şok dalgası (blast) sahip olduğu yüksek basınç nedeniyle etrafındaki objeleri parçalama potansiyeli taşır (Bosch ve Weterings, 2005: 5-42).

Basınç dalgasının gaz dinamiği parametreleri genellikle çok hızlı veya birdenbire artar ve bu durum pozitif faz bölgesini oluşturur. Sonrasında ise yavaş bir şekilde azalarak ortam değerlerinin altına düşer. Böylece negatif faz bölgesi oluşur. Negatif faz bölgesini takiben parametreler yavaşça atmosferik değere yeniden gelir. Buradaki yavaş ve hızlı terimleri göreceli değerlerdir. Basınç dalgası genellikle saniyenin onda birinden daha kısa sürede meydana gelir (Bosch ve Weterings, 2005: 7-14).

Şekil 2.21. bir patlama alanından uzakta sabit bir yerdeki tipik şok dalgası için zamanla basıncın değişimini göstermektedir. Patlama t_0 zamanında olmuştur. Patlama noktasından etkilenen alana şok cephesinin ulaşmasından önce küçük bir t_1 zamanı vardır. Bu zaman varış zamanı olarak isimlendirilir. t_1 zamanında şok cephesi etkilenecek alana ulaşmıştır ve kısa süreli güçlü bir esintiyi takip eden aşırı pik basınç gözlenmektedir. Basınç değeri t_2 zamanında hızlı bir şekilde ortam basıncına inmektedir. t_1 ve t_2 arasındaki zaman dilimi aşırı basınç ya da pozitif faz süresi olarak adlandırılır (Sayan, 2013).

Aşırı basınç süresi genellikle serbestçe duran yapıların maruz kaldığı en yıkıcı zaman dilimidir, bu nedenle aşırı basıncın büyüklüğünü bilmek hasarı ya da meydana gelecek zararı tahmin etmek için önemlidir. t_1 de azalmaya başlayan basınç ortam basıncının altında maksimum alçak basınca inmeye devam eder. Alçak basıncın neden olduğu zararlar da mevcuttur, ancak oluşan hasar, aşırı basınç zaman dilimine göre çok daha azdır. t_3 deki maksimum alçak basınca ulaşıldıktan sonra basınç ortam basınç değerine t_4 'de ulaşır (Sayan, 2013).



Şekil 2.21. Sabit bir yerdeki şok dalgası basıncı

Proses endüstrilerinde görülen patlama şekilleri genellikle aşağıdaki gibidir (Hyatt, 2004).

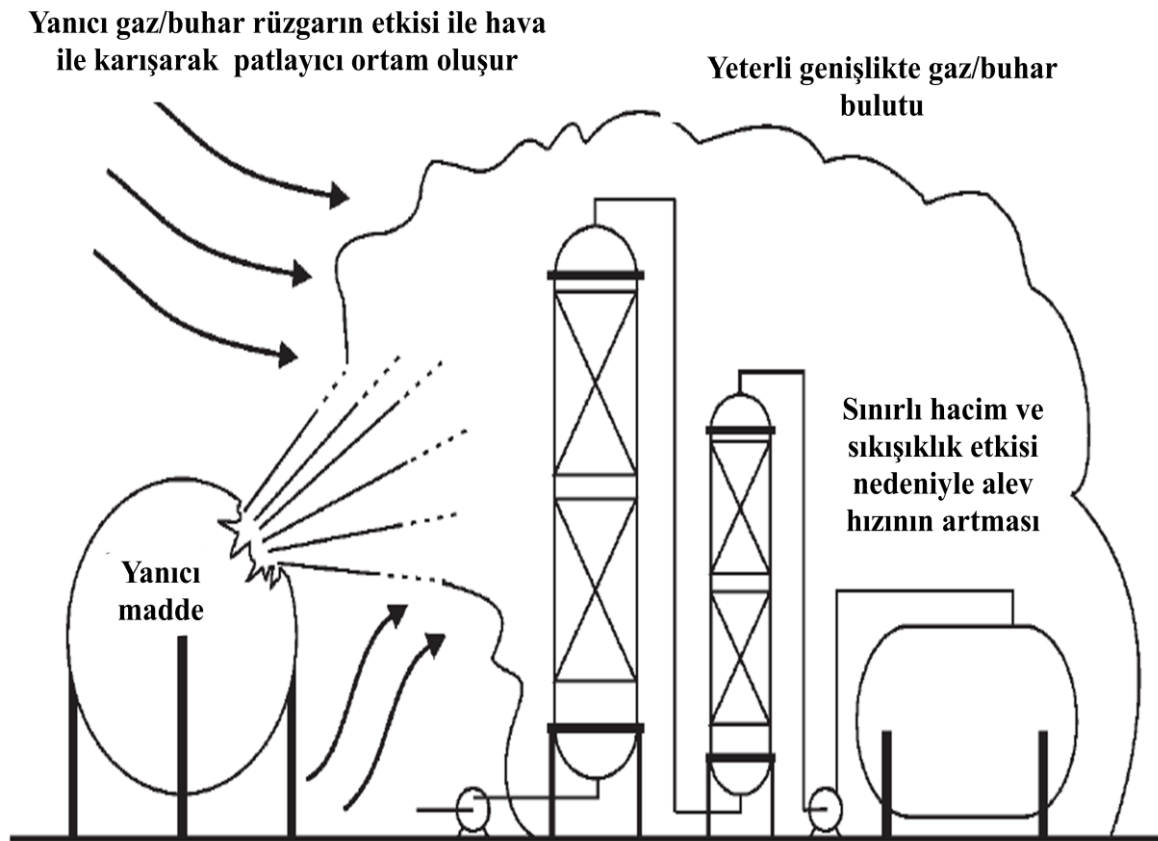
1. Fiziksel patlamalar-Basınç sisteminde stabil olmayan basınç ve/veya sıcaklık koşullarından veya mekanik bir hata nedeniyle oluşur
2. Patlayıcı madde patlamaları-Katı veya sıvı formdaki patlayıcı maddelerden kaynaklanır
3. VCE-(Vapor Cloud Explosion) Buhar bulutu patlaması
4. BLEVE- Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) Kaynayan sıvı genleşen buhar patlaması
5. Reaktör tankı patlamaları-Reaksiyon tanklarındaki ekzotermik reaksiyonların kontrol altına alınamaması nedeniyle oluşan patlamalar
6. VEEB-(Vapor Escape into Explosion in a Building) Haricen oluşan patlayıcı hava-gaz karışımının bir bina içerisine girerek birikmesi ve tutuşması nedeniyle oluşan patlama
7. Toz patlamaları-Havada asılı haldeki yanıcı tozların tutuşması nedeniyle oluşan patlamalar

Yukarıda patlama şekilleri arasında proses endüstrilerinde en sık görülen ve etkisi en şiddetli olan patla şekli VCE yani buhar bulutu patlamasıdır. VCE yanıcı özellikte olan gazların ve sıvı buharlarının hava ile karışarak minimum alev alma konsantrasyonuna gelmesi şeklinde oluşur. VCE patlaması 4 adımda meydana gelir (Hyatt, 2004).

1. Yanıcı madde yeterli bir hızda boşalır,

2. Yanıcı maddeyi tamamı veya bir kısmı buharlaşıp yeterince bir hacmi uzun süreler işgal ederek hava ile uygun bir oranda karışır ve patlayıcı atmosferi oluşturur,
3. Meydana gelen patlayıcı atmosfer sınırlı bir hacimde oluşur böylece türbülans meydana gelir ve bu durum alev ön bölgesinin hızlanmasına neden olur,
4. Patlayıcı atmosfer çoğu zaman ortamda zaten var olan bir tutuşma kaynağıyla tutuşur.

Bir patlamanın buhar bulutu patlaması olarak kabul edilmesi için patlayıcı ortamın tutuşması ve bunun sonucunda bir basınç etkisinin ortaya çıkması gerekmektedir. Patlayıcı ortam koşullarını sağlayan her durumda, buhar bulutu patlaması meydana gelmeyebilir. Eğer bir basınç artışı söz konusu değilse böyle olaylar buhar bulutu yangınları veya parlama yangınları olarak isimlendirilir. Şekil 2.22.'de bir buhar bulutu patlamasına ilişkin koşullar gösterilmiştir (Crowl, 2003).



Şekil 2.22. Buhar bulutu patlamasında bulunması gerekli koşullar

2.4. Patlama Riskinin Değerlendirilmesine Yönelik Mevzuat

2.4.1. Çalışanların patlayıcı ortamların tehlikelerinden korunması hakkında yönetmelik-Patlamadan korunma dokümanı

Amacı, işyerlerinde oluşabilecek patlayıcı ortamların tehlikelerinden çalışanların sağlık ve güvenliğini korumak için alınması gerekli önlemleri belirlemek olan bu yönetmelik; yapılacak risk değerlendirmesinde patlayıcı ortam oluşma ihtimali, bu ortamın kalıcılığı, statik elektrik de dahil tutuşturucu kaynakların bulunma, aktif ve etkili hale gelme ihtimalleri, işyerinde bulunan tesis, kullanılan maddeler, prosesler ile bunların muhtemel karşılıklı etkileşimleri ile olabilecek patlamanın etkisinin büyüklüğünün göz önünde bulundurulmasını yasal zorunluluk haline getirmiştir. Bu tür tesislerde mevzuat gereği hazırlanması gereken dokümanlardan biri “Patlamadan Korunma Dokümanı”dır. Bu doküman tesislerin bulundukları sektörlere, üretim metotlarına, kullanılan maddelere ve ekipmanlara göre patlama ile ilgili risklerin analizi ve değerlendirilmesi, değerlendirme sonuçlarına göre mevcut ve alınması gereken önlemlerin belirlenmesi ile gerekli eğitimlerin sağlanması temeline dayalı, proaktif bir dokümandır. Bu dokümanda özellikle olabilecek bir patlamanın büyüklüğü ve olası etkileri göz önünde bulundurulmalı ve dokümante edilmelidir.

2.4.2. Büyük endüstriyel kazaların kontrolü hakkında yönetmelik-Güvenlik raporu

1976 yılında İtalya’nın Seveso bölgesinde yaşanan ve büyük bir çevresel felakete yol açan kazayı takiben endüstriyel kazaları önlemek ve olası endüstriyel kazaların zararlı etkilerini azaltmak amacıyla Avrupa Birliği Seveso I 82/501/EEC direktifini hazırlamış ve uygulamaya geçirmiştir. 1984 yılında Hindistan’ın Bhopal şehrinde ve 1986 yılında İsviçre’nin Basel şehrinde meydana gelen büyük endüstriyel kazalar bu direktifin değiştirilmesine neden olmuştur. Yeni ve gözden geçirilmiş direktif Seveso II (96/82/EC) olarak Avrupa Birliğinde yürürlüğe girmiştir.

Genel olarak, Seveso II Direktifi kapsamında oluşturulacak olan büyük kaza önleme politikaları; Organizasyonel ve kişisel bilgileri, büyük tehlikelerin tanımlanmasını ve değerlendirilmesini, yeni tesislerin tasarımını, süreç kontrolünü, personelin eğitimi ve idaresini, acil durum planlarını, performans değerlendirmesini ve denetim ile ilgili bilgileri içermektedir (Hawskley, 1999: 65-121).

Ülkemizde, tehlikeli maddeler bulunduran kuruluşlarda büyük endüstriyel kazaların önlenmesi ve muhtemel kazaların insanlara ve çevreye olan zararlarının en aza indirilmesi, yüksek seviyede, etkili ve sürekli korumayı sağlamak için alınması gerekli önlemler ile ilgili usul ve esasları belirlemek olan Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik 30.12.2013 tarihinde yayımlanmış ve Güvenlik Raporu hazırlama yükümlülüğü 1.1.2016 tarihinde yürürlüğe girecektir.

Yönetmeliğe göre belirli miktarın üzerinde tehlikeli madde bulunduran işletmeler güvenlik raporu hazırlamak zorundadır. Güvenlik raporunda bulunması gereken asgari bilgiler yönetmelikte belirlenmiştir. Güvenlik raporu kişiler, toplum, mülk ve çevre için ciddi tehdit ve/veya zarar oluşturan majör kazalar ile bu kazalara neden oluşturabilecek tüm tehlikeli olayları kapsamalıdır.

Yönetmelik kapsamında hazırlanacak olan güvenlik raporlarında büyük kaza tehlikeleri tanımlamalı ve bu kazaların şiddeti uygun metotlarla değerlendirilmelidir. Büyük endüstriyel kazaların önlenmesi, insan ve çevre üzerindeki etkilerinin en aza indirilmesi için gerekli önlemlerin alındığının göstermelidir.

2.5. Patlama Riskinin Analiz Edilmesine Yönelik Literatür Taraması

Patlayıcı madde üretim tesisleri diğer kimyasal madde üretim tesisleri gibi çok farklı ekipman, proses, kontrol sistemi, yardımcı ünite ve prosedürden oluşan karmaşık bir yapıdır. Bu tür tesislerde gerek hammadde gerekse ara mamul ve ürün olarak çok farklı kimyasal madde elleçlenmekte ve depolanmaktadır. İşte bu bileşenlerin birbiriyle etkileşimi, insan faktörü, yönetsel ve organizasyonel problemler bu tür tesislerde patlama gibi istenmeyen kazalara neden olmaktadır. Bu tür kazaların önlenmesi için kazalara neden olabilecek istenmeyen durumlarla mücadele etmek ve doğru, etkili koruyucu önlemler almak gereklidir. Bununla birlikte bu tür kazaların önlenmesi için öncelikle, bu kazaya neyin sebep olabileceğinin ve nasıl sonuçlanabileceğinin tespit edilmesi ve anlaşılması gerekmektedir. Başka bir ifadeyle eğer olası bir patlamanın ne tür sonuçlar oluşturabileceği, etki mesafesinin ne olacağı bilinirse alınması gerekli tedbirlerde bu sonuçlara göre belirlenebilir. Bu amaçla başta patlamaların etki mesafesinin hesaplanması oldukça önemli bir konu olup, bu konuya ilişkin literatür 1941 yılında

Heinrich tarafından domino etkisinin ortaya atılmasına kadar uzanmaktadır (Al-shanini, 2014).

Gaz ve sıvı fazda bir hidrokarbon salımına ilişkin farklı senaryolar geliştirilerek bu senaryolara göre meydana gelebilecek olası patlamaların etki mesafesi, akışkanlar mekaniği temelli (computerized fluid dynamics) FLACS bilgisayar programı kullanılarak tahmin edilmiştir (Dadashzadeh, Khan, Hawboldt ve Amyotte, 2013).

İzmir Aliğa bölgesindeki endüstriyel tesislerden kaynaklanabilecek kazalarda acil durum planlarının yapılabilmesi amacıyla iki farklı bilgisayar programı yardımıyla akrilonitril patlaması şeklinde oluşturulan senaryo kapsamında etki mesafeleri ortaya konulmuştur (Onelcin, Mutlu ve Alver, 2013).

Etki mesafelerinin tahmin edilmesine yönelik olarak şimdiye kadar birçok ticari bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu programlardan bazıları MOSEC, HAZDIG, DOMIFFFECT yazılımlarıdır. Bu programlardan başka özellikle Seveso direktifinin uygulamasına yönelik olarak PHAST, EFFECTS, BREEZE bilgisayar programları da bulunmaktadır (Arunraj ve Maiti, 2009).

Yapılan bir çalışmada; kot kumaşı üreten bir tekstil fabrikasındaki kimyasal madde deposunun patlamasına yönelik etki analizini saptamak üzere matematiksel modelleme yapılmıştır. Yapılan modelleme ile en yüksek risklerin gerçekleşmesi halinde yarıçapı 700 metreye ulaşabilen bir alanda binaların tahrip olabileceği ve insanların yaralanabileceği/ölebileceği anlaşılmıştır (Arda, 2008).

Bir asetilen üretim tesisinde depolanan asetilen tüplerinin ve gaz tutucuda biriken asetilen gazının patlaması sonucunda, asetilen üretim yapan fabrikanın, çalışan kişilerin ve çevrenin patlamanın basınç etkisinden nasıl etkileneceği hesaplanmıştır. Bu etkilerden etkilennemek için oluşturulması gereken güvenlik hatlarının mesafeleri belirlenmiştir [Tomas, 2008].

Yapılan başka bir çalışmada ise; bir LPG dolum tesisinde meydana gelebilecek çeşitli kaza ve patlama senaryoları modellenmiştir. Ayrıca İTÜ Maslak kampüsünde bulunan LPG

tankının patlama senaryosu için ALOHA programı kullanılarak etki mesafeleri gösterilmiştir (Terzioğlu, 2007).

2.6. Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi

Ülkemizde, patlayıcı madde üretim tesisleri de dahil olmak üzere patlama riskinin var olduğu endüstriyel tesisler, gerek tesiste uygulanan yönetim sistemi ve gerekse uymakla yükümlü bulundukları mevzuat gereği patlama riskini değerlendirmek ve patlamanın muhtemel etkilerini belirlemek zorundadır. Patlamanın olası etkilerinin belirlenmesi risk yönetim sistemleri açısından oldukça önemlidir. Zira mevcut tedbirlerin yeterliliği ve alınacak ek tedbirler ancak patlamanın olası etkilerinin belirlenmesinden sonra yerine getirilebilir.

Patlayıcı maddeler, bu maddelerin dekompozisyonuna neden olacak koşullar oluştuğunda patlarlar. Bu koşullar çarpma, sürtme, sıcaklığın artması, şok dalgası, statik elektrik, kıvılcım gibi birçok tutuşma kaynağı olabilir. Patlayıcı maddelerin patlayabilmesi için, patlayıcı ortamlarda olduğu gibi oksijen kaynağına ihtiyaç yoktur. Zira oksijen, zaten patlayıcı maddenin yapısında mevcuttur.

Patlayıcı maddelerin aksine, yanıcı maddelerin hava ile oluşturduğu karışımların patlayabilmesi için yalnızca tutuşturucu kaynağının bulunması yeterli değildir. Patlama gerçekleşmesi için, yanıcı maddelerin hava ile yaptıkları karışımın, bu ortamın patlamasına yol açmadığı en düşük patlama konsantrasyonunun (LEL) üzerinde ve en yüksek patlama konsantrasyonunun (UEL) ise altında bulunması gerekir.

Patlayıcı ortamlardan kaynaklanan kazalar her zaman bir bütünlük kaybıyla başlar. Depolama tankı, destilasyon kolonu veya bir boru devresi gibi yanıcı maddelerin depolandığı ekipmanlarda bir çatlak, delik veya vananın açık kalması gibi bir durum meydana geldiğinde madde atmosfere salınır. Bunun nedeni ise çoğu zaman korozyon, bir mekanik etki veya insan hatasıdır.

Bir bütünlük kaybı meydana geldiğinde bunun sonrasında nasıl bir olay meydana geleceğini tahmin edebilmek için bir çok veriye ihtiyaç duyulur. Açığa çıkan maddenin fiziksel hali(gaz, sıvı veya gaz/sıvı karışımı), açığa çıkan maddenin kimyasal özellikleri,

meteorolojik koşullar, önleyici tedbirlerin varlığı gibi koşullar patlayıcı ortamdan kaynaklanacak patlama etkisinin belirlenmesinde etkili olan kriterlerdir (Casal, 2008: 30-32).

Patlamanın muhtemel etkilerini belirlemek oldukça karmaşık bir dizi matematiksel işlemi ve uzmanlaşmayı gerektiren bir süreçtir. Bu süreç aşağıda açıklanan başlıklardan oluşur.

2.6.1. Boşalma hızının tayini

Patlayıcı ortamların neden olacağı patlamanın etkilerinin belirlenmesi için öncelikli olarak yapılması gereken bir bütünlük kaybı sırasında yanıcı gaz veya sıvıların boşalma hızının belirlenmesidir. Birim zamanda boşalan madde miktarı bilinirse, patlamaya eşlik edecek maddenin patlama enerjisini ve enerjinin muhtemel etkisini de hesaplamak mümkün olacaktır.

Gazların/buharların boşalma hızı

Bir gaz veya buhar bir proses ekipmanından boşaldığında basınçlı gazda var olan enerji kinetik enerjiye dönüşür. Böyle bir bütünlük kaybında yani gazın bir açıklıktan atmosfere genişlemesi hadisesinde, gazın yoğunluğunda, sıcaklığında ve basıncında değişim meydana gelir. Pratikte eğer yoğunluk değişimi ($\rho_1/\rho_2 < 2$, $P_1/P_2 < 2$) ve bağıl hız ($u < 0,3$ ses hızı) yeteri kadar küçükse bu durumda akış sıkıştırılamaz olarak kabul edilir. Ancak yüksek basınç değişimlerinde ve yüksek akış hızlarında kinetik enerji ve sıkıştırılabilirlik etkisi, mekanik enerji dengesinde baskın hale gelir ve akış sıkıştırılabilir olarak kabul edilir. Böyle bir fiziksel olayın basit bir şekilde modellenmesi için akış tersinir ve adyabatik olarak kabul edilir ki bu izentropik akış anlamına da gelir. Akışkan ise genelde ideal gaz olarak kabul edilir. Gazların boşalma hızlarının modellenmesindeki yaklaşım, yoğunlaşma olmadığı sürece buharlara da uygulanır (Casal, 2008, 30-32)

Bir gaz veya buhar bir delikten atmosfere çıktığında ya ses hızında ya da ses hızının altında bir hızda çıkacaktır. Eğer gazın veya buharın depolandığı kaptaki basınç, kritik basınçtan büyükse bu durumda gazın akış hızı ses hızından büyük olacaktır. Aksi durumda ise ses hızından küçük olacaktır. Kritik basınç Eş. 2.4 yardımıyla bulunur (AIChE, 1996; AIChE,

2000; Cox, Lees ve Ang, 2000; Crowl ve Louvar, 2002; Casal, 2008; TS-EN 60079-10-1: 2009).

$$P_c = \left(\frac{\gamma+1}{2} \right)^{\frac{\gamma}{\gamma-1}} \quad (2.4)$$

Burada;

P_c :Kritik basınç(Pa)

γ :Isı kapasiteleri oranı(-)

Isı kapasiteleri oranı ise Eş. 2.5 yardımıyla bulunur (AIChE, 1996; AIChE, 2000; Cox, Lees ve Ang, 2000; Crowl ve Louvar, 2002; Casal, 2008; TS-EN 60079-10-1: 2009).

$$\gamma = \frac{MA \times C_p}{MA \times C_p - R} \quad (2.5)$$

Burada;

γ : Isı kapasiteleri oranı(-)

MA :Molekül ağırlığı(kg/kmol)

R :Üniversal gaz sabiti(8314 J kmol⁻¹K⁻¹)

Gazın veya buharın depolandığı kaptaki basınç, kritik basınçtan büyükse boşalma hızı Eş. 2.6 kullanılarak bulunabilir (AIChE, 1996; AIChE, 2000; Cox, Lees ve Ang, 2000; Crowl ve Louvar, 2002; Casal, 2008; TS-EN 60079-10-1: 2009).

$$m = A \times C_d \times P \sqrt{\gamma \times \frac{MA}{R \times T} \times \left(\frac{2}{\gamma+1} \right)^{\frac{\gamma+1}{\gamma-1}}} \quad (2.6)$$

Burada;

m :Boşalma hızı (kg/s)

C_d :Boşalım katsayısı(-)

A :Sızıntının meydana geldiği kesit alanı(m²)

P : Tankın içindeki gazın basıncı(Pa)

γ : Isı kapasiteleri oranı(-)

MA : Molekül ağırlığı(kg/kmol)

Gazın veya buharın depolandığı kaptaki basınç, kritik basınçtan küçükse boşalma hızı Eş. 2.7 kullanılarak bulunabilir (AIChE, 1996; AIChE, 2000; Cox, Lees ve Ang, 2000; Crowl ve Louvar, 2002; Casal, 2008; TS-EN 60079-10-1: 2009).

$$m = A \times C_d \times P \sqrt{\frac{MA}{RT} \times \frac{2\gamma}{\gamma-1} \left[1 - \left(\frac{P_a}{P} \right)^{\frac{\gamma-1}{\gamma}} \right]} \times \left(\frac{P_a}{P} \right)^{\frac{1}{\gamma}} \quad (2.7)$$

Burada;

Boşalma hızı (kg/s)

m : Boşalma hızı(kg/s)

C_d : Boşalım katsayısı(-)

A : Sızıntının meydana geldiği kesit alanı(m²)

P : Tankın içindeki gazın basıncı(Pa)

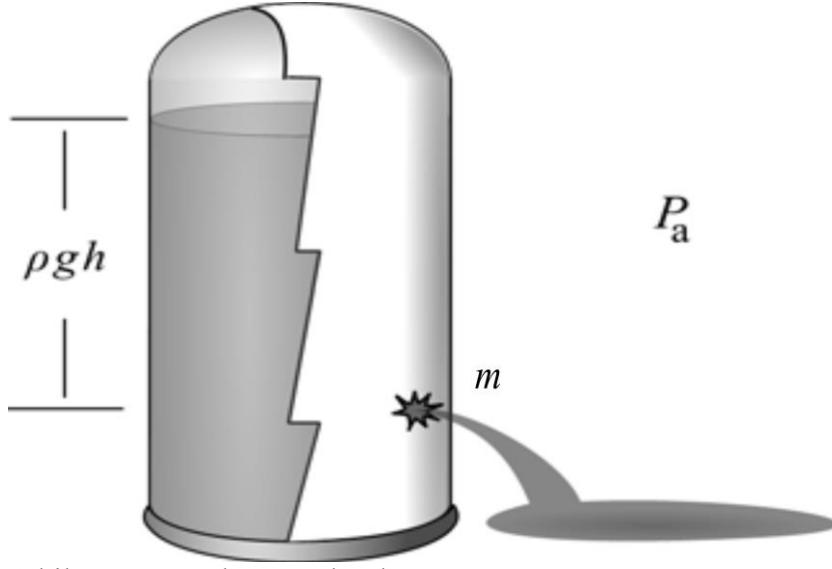
P_a : Atmosfer basıncı(Pa)

γ : Isı kapasiteleri oranı(-)

MA : Molekül ağırlığı(kg/kmol)

Sıvıların boşalma hızı

Sıvılar endüstride oldukça yoğun olarak kullanılır ve genellikle tanklarda depolanır. Şekil 2.23.'de bit tankta depolanan sıvının muhtemel bir sızıntı şekli gösterilmiştir. Sıvıların boşalma hızı Eş. 2.8 yardımıyla hesaplanabilir [AIChE, 2000; Crowl ve Louvar, 2002; Casal, 2008).



Şekil 2.23. Depolama tankından sıvı sızıntısı

$$m = C_d \times \rho \times A \sqrt{2 \left(\frac{P_b - P_a}{\rho} + \rho h \right)} \quad (2.8)$$

Burada;

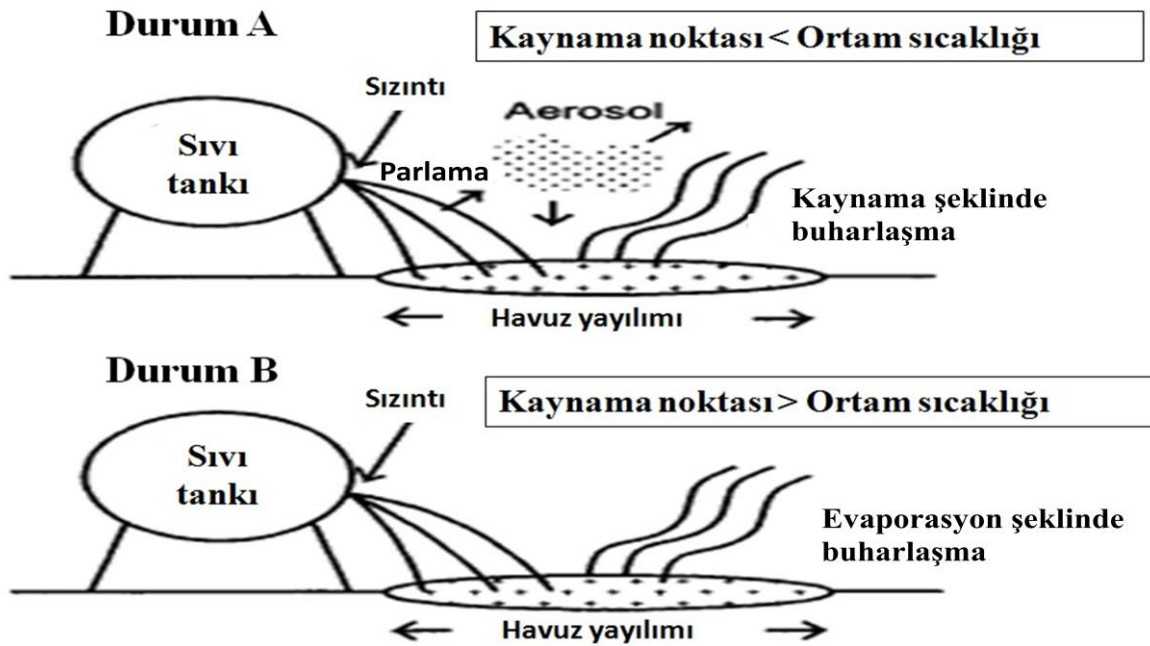
- m :Boşalma hızı (kg/s)
- C_d :Boşalım katsayısı(-)
- ρ :Sıvının yoğunluğu(kg/m³)
- A :Sızıntının meydana geldiği kesit alanı(m²)
- P_b :Sıvının üzerindeki basınç(Pa)
- P_a :Atmosferik basınç(Pa)
- h :Sızıntının üzerindeki sıvı sütununun yüksekliği(m)

Boşalım katsayısı, sızıntının geometrisine göre belirlenen bir katsayı olup genellikle keskin köşeli orifislerde $C_d = 0,62$; düz orifislerde $C_d = 0,82$; ve yuvarlak orifislerde ise $C_d = 0,97$ olarak alınabilir (Casal, 2008).

2.6.2. Evaporasyon hızının tayini

Tank, boru, ısı değiştirici, destilasyon kolonu gibi proses ekipmanlarından bir sıvı sızıntısı olması durumunda Şekil 2.24.'de gösterildiği gibi farklı hadiseler meydana gelebilir. Eğer bir sıvı basınç altında tutuluyor ve sıvı sıcaklığı kaynama noktasının üzerinde ise atmosfere

sızan sıvı parlayarak buharlaşacaktır. Oluşan buhar sıvının önemli bir miktarını damlacık haline getirerek sürükler. Damlacık haline gelen bu sıvının bir kısmı yağmurlama şeklinde zemine geri gelirken, bir kısmı ise sonradan meydana gelebilecek muhtemel buharlaşma (evaporasyon) ile aerosol şeklinde asılı kalır. Bu olaylardan arta kalan sıvı bir havuz oluşturmak suretiyle buharlaşmaya devam edecektir. Basınçlı kapta ve ortam sıcaklığında depolanan sıvı fazdaki klor ve amonyak boşalması bu tür olaylara örnek olarak verilebilir (AIChE, 2000).



Şekil 2.24. Sıvının kaynama noktasına bağlı olarak iki yaygın sızıntı durumu

Kaynama noktası ortam sıcaklığının altında olan sıvılardan buharlaşan madde miktarı Eş. 2.9 kullanılarak hesaplanabilir (AIChE, 2000; Factory Mutual Insurance Company, 2008; Fthenakis, 1993).

$$F = C_p \frac{(T - T_b)}{L} \quad (2.9)$$

Burada;

F :Parlama kesri(-)

C_p :Sabit basınçtaki ısı kapasitesi($J \, kg^{-1} \, K^{-1}$)

T_b :Sıvının kaynama sıcaklığı(K)

- T :Tankın içindeki sıvının sıcaklığı(K)
 L :Sıvının gizli buharlaşma entalpisi(kJ/kg)

Kaynama noktası ortam sıcaklığının altında olan sıvılardan buhar fazına geçen madde miktarının tespiti amacıyla Eş. 2.9 kullanılarak elde edilen F değerinin iki katı dikkate alınır. Buhar fazına geçen maddeler ile sürüklenen sis ve aerosoller de bu sayede dikkate alınmış olunur. (Factory Mutual Insurance Company, 2008; Fthenakis, 1993).

Kaynama noktası ortam sıcaklığının üzerinde olan sıvılardan buharlaşan madde miktarı ise Eş. 2.10 kullanılarak hesaplanabilir (United States Environmental Protection Agency, 1999).

$$m = \frac{0,002147 \times A \times P_b \times MA^{0,667} \times u^{0,78}}{T} \quad (2.10)$$

Burada;

- m :Buharlaşma hızı(kg/s)
 A :Boşalan sıvının oluşturduğu yüzeyin alanı(m²)
 P_b :Sıvının buhar basıncı(kPa)
 MA :Sıvının molekül ağırlığı(kg/kmol)
 u :Sıvının hemen üzerindeki rüzgar hızı(m/s)
 T :Sıvının sıcaklığı(K)

2.6.3. Patlama enerjisinin TNT eşdeğeri metodu ile hesaplanması

Patlamanın etkilerinin belirlenebilmesi için şimdiye kadar birçok metot geliştirilmiştir. Bu metotları deneysel ve bilgisayar destekli modeller şeklinde ikiye ayırmak mümkündür. Deneysel metotlardan bazıları; TNT eşdeğeri metodu, TNO Çoklu Enerji Metodu, Baker-Strehlow metodudur. Patlayıcı ortamlardan kaynaklanan riskleri değerlendirme metotlarından ikincisi ise bilgisayarlı akışkanlar dinamiği simülasyonlarıdır. Bu tür bilgisayar programları (computational fluid dynamic, CFD) yanıcı gaz, buhar veya sislerin oluşturabileceği muhtemel patlayıcı ortamları nümerik metotlarla hesaplamakta sonuçları

üç boyutlu olarak görsel bir şekilde ortaya koymaktadır. TNT eşdeğeri metodu uygulama kolaylığı nedeniyle endüstride çok daha yaygın bir şekilde kullanılmaktadır.

TNT eşdeğeri metodu askeri uygulamalar için kullanılan güçlü bir patlayıcı olan TNT üzerine yapılan araştırmalar sayesinde geliştirilmiştir. Bu metodun bazı zayıf yönleri bulunmasına karşın, endüstrideki kaza senaryoları kapsamındaki buhar bulutu patlaması (VCE), fiziksel patlamalar, iç patlamalar gibi patlamaların etkisinin belirlenmesinde sıklıkla kullanılmaktadır. Bu metodun en çok tercih edilme nedenlerinden biri de yeterince test verisinin var olmasıdır (Factory Mutual Insurance Company, 2008).

Buhar bulutu patlamalarının (VCE) etkilerinin modellenmesinde kullanılan TNT eşdeğeri metodunun arkasındaki temel kabul, patlayıcı gaz/buhar bulutundaki yanıcı kütlenin miktarı ile bir patlayıcı madde olan TNT (trinitrotoluen) arasında bir oranlama yapmaktır. Bu oranlama faktörü ise patlama verimi olarak bilinir ve geçmişte yaşanan büyük buhar bulutu patlamalarında gözlenen etki mesafeleri dikkate alınarak ve TNT patlamaları ile karşılaştırmak suretiyle bulunmaktadır (AIChE, 1998: 100-120).

TNT eşdeğeri metodunda patlayıcı ortamın kütlesi, patlama verimi veya verimlilik faktörü adı verilen bir katsayı kullanılarak TNT eşdeğeri kütleye dönüştürülür. Çoğu hidrokarbonun yanma entalpisi yaklaşık 46 MJ'dür. TNT'nin dekompozisyon entalpisi ise yaklaşık 4,6MJ'dür. Görüleceği üzere bir hidrokarbon TNT'den 10 kat fazla enerjiye sahiptir. Bu yüzden %10 patlama verimiyle hidrokarbonlar TNT ile eşdeğer hale gelir. Bununla birlikte özellikle laboratuvar dışındaki koşullarda %100 patlama verimini elde etmek mümkün değildir. Gerçek durumdaki patlama veriminin ne olduğunu tahmin etmek uzmanlık işidir. Bu durum TNT eşdeğeri metodunun en önemli dezavantajıdır (Factory Mutual Insurance Company, 2008).

Patlama veriminin tayin edilmesine yönelik ihtiyaç, araştırmacıları bu konuda yoğun olarak çalışmaya itmiştir. Bu çalışmalar hem deneysel olarak hem de yaşanmış kazaların analiz edilmesi şeklinde yürütülmüştür. Yaşanan kazaların analizlerinden hareketle çoğu hidrokarbon için patlama veriminin %1-5 arasında olduğu ortaya konmuştur. Ancak bazı durumlarda ise patlama verimi %50 olarak bulunmuştur (Factory Mutual Insurance Company, 2008). Patlama veriminin stokastik olarak belirlenmesi çalışmaları sonucunda ise bu değer %4-10 arasında değiştiği sonucuna ulaşılmıştır (Bosch ve Weterings, 2005).

Patlama verimi; boşalan maddenin kimyasal özelliğine, sıcaklığına, basıncına, boşalma şekline, atmosferik koşullara, tutuşturma kaynağının özelliklerine ve bilhassa kimyasalın boşaldığı yerdeki topoğrafya ile doğrudan ilişkilidir. Yanıcı madde boşalmasının olduğu yerin çevresinde var olan boru devreleri, duvarlar, ekipmanlar gibi çeşitli engeller patlama verimini oldukça etkiler. Yanıcı madde boşalmasının açık bir alanda meydana gelmesi çok düşük yanma verimine ve çok düşük bir patlamaya neden olur ki bu şartlarda oluşacak basınçta düşük olur. Aksine boşalmanın proses ekipmanlarının sık olarak yerleştirildiği bir yerde, bir araba parkında veya bir ormanda olması patlama verimi ve oluşacak basıncı çok fazla artırır (Factory Mutual Insurance Company, 2008).

Aşağıda patlama veriminin tahmininde kullanılan bazı yaklaşımlar özetlenmiştir (AIChE, 2008; United States Environmental Protection Agency, 1999; AIChE, 1998).

1. Brasie ve Simpson (1968): %2-5 arasındaki değerlerin kullanılmasını tavsiye etmişlerdir.
2. Health and Safety Executive (1979 ve 1976): İngiltere’de İş Sağlığı ve Güvenliği alanında otorite olan bu kurum patlama verimini %3 olarak belirlemişlerdir.
3. Endüstriyel Risk Sigortacıları (1990): Bu kurum patlama verimini %2 olarak kabul etmektedir.
4. Factory Mutual Research Corporation (1994): Bu yaklaşımda, patlama veriminin tayini için maddeler reaktiflik durumuna göre üçe ayrılmıştır. Asetilen gibi yüksek reaktif kategorisinde yer alan maddeler için patlama verimi %15, dietil eter gibi orta reaktif kategorisinde yer alan maddeler için patlama verimi %10 ve propan gibi düşük reaktif kategorisinde yer alan maddeler için ise patlama verimi %5 olarak kabul edilmiştir.

Buhar bulutu patlamasında, patlayıcı ortam geniş bir bölgeye yayılmış vaziyette olmasına karşın, TNT patlaması noktasal bir patlamadır. Buhar bulutu patlaması esasen noktasal bir patlama değildir. Buhar bulutu patlamalarında, patlayıcı ortam geniş bir proses alanına dağılıp, proses alanındaki diğer boşlukları da doldurduğundan, patlayıcı atmosferin bir kısmı basınç oluşumuna eşlik etmeyebilir. Dahası buhar bulutu patlaması çoğu zaman, TNT patlamaları gibi detonasyon olarak değil, deflagrasyon şeklinde patlar. Dış ortamda deflagrasyon dış ortamda 1 barg yüksek basınç oluştururken, Detonasyon 10-60 barg yüksek basınç oluşturur. Buhar bulutu patlaması ile TNT patlaması arasında şok dalgasının şeklinde de farklılıklar mevcuttur. TNT patlamalarında oluşan şok dalgası basınçta keskin

bir yükseliş meydana getirir ve pozitif faz süresi kısadır. Buhar bulutu patlamalarında oluşan şok dalgası basınçta daha yumuşak bir yükseliş meydana getirir ve pozitif faz süresi daha uzundur. Bu sebeple buhar bulutu patlamaları, TNT patlamalarına göre uzak mesafelerde daha yüksek basınç oluşturabilir. Yakın mesafelerde ise TNT patlamaları çok buhar bulutu patlamalarına göre daha fazla basınç oluşturabilmektedir (Factory Mutual Insurance Company, 2008).

Sahip olduğu dezavantajlara rağmen TNT eşdeğeri metodu patlamanın etkileri hakkında genel bir fikir sahibi olmak için halen tercih edilen bir yöntem olarak kullanılmaya devam etmektedir. Bununla birlikte hassas bir değerlendirme yapmak, spesifik bir dizayn kriteri belirmemek ve fabrika yerleşimi planlamak amacıyla TNT eşdeğeri metodunun kullanılması genellikle uygun değildir (Factory Mutual Insurance Company, 2008).

Patlayıcı ortamdan kaynaklanan patlamaların oluşturacağı fiziksel etki mesafesinin TNT eşdeğeri metodu ile belirlenmesindeki bazı dezavantajları şöyledir (Bjerketvedt, Bakke ve Wingerden, 1998).

- Çeşitli kriterlere göre değişiklik gösteren patlama verimi faktörü vardır.
- Zayıf gaz patlamalarını temsil edemez.
- Sadece pozitif faz süresini dikkate alır.
- Gaz patlama prosesini tam anlamıyla temsil edemez.
- Patlama merkezinin seçimine yönelik tam olarak belirlenmiş bir metot yoktur.
- Patlama merkezine yakın mesafelerde olması gerekenden daha yüksek, uzak olan mesafelerde daha düşük sonuç üretmektedir.
- Buhar bulutunun yayıldığı bölgedeki sınırlılık ve sıkışıklık faktörlerini dikkate almaz.

TNT eşdeğer kütleinin hesaplanması

Patlayıcı ortamı oluşturan toplam kütle belirlendikten sonraki adım, bu ortamdaki kütleinin ne kadar bir TNT eşdeğer kütleyle karşılık geldiğinin bulunmasıdır. Bu amaçla aşağıdaki eşitlikten yararlanılabilir (AIChE, 1998; Bjerketvedt, Bakke ve Wingerden, 1998; AIChE, 2000; Crowl ve Louvar, 2002; Crowl, 2003; Bosch ve Weterings, 2005; Casal, 2008; Factory Mutual Insurance Company, 2008; AIChE, 2008; Arda, 2008).

$$W_{TNT} = \alpha_e \frac{W_f \times H_f}{H_{TNT}} \quad (2.11)$$

Burada;

W_{TNT} :Patlayıcı ortamın TNT eşdeğeri kütlesi(kg)

α_e :Patlama verimi

H_f :Patlayıcı ortamdaki maddenin yanma entalpisi(MJ/kg)

H_{TNT} :TNT'nin patlama enerjisi(MJ/kg)

TNT'nin patlama enerjisi 4,19-4,68 MJ/kg arasında değişebilmektedir (AIChE, 2000; Crowl, 2003; Factory Mutual Insurance Company, 2008; AIChE, 2008; Arda, 2008).

Etki mesafesinin belirlenmesi

Patlayıcı ortamın TNT eşdeğer kütlesinin hesaplanmasından sonra, bu kütlenin mesafeye bağlı olarak oluşturacağı yüksek basınç, Şekil 2.25.'de verilen Hopkinson ölçekli uzaklık grafiğinden bulunabilir. Hopkinson ölçekli uzaklığı aşağıdaki eşitlik yardımıyla hesaplanır. (AIChE, 1998; Bjerketvedt, Bakke ve Wingerden, 1998; AIChE, 2000; Crowl ve Louvar, 2002; Crowl, 2003; Bosch ve Weterings, 2005; Casal, 2008; Factory Mutual Insurance Company, 2008; AIChE, 2008; Arda, 2008).

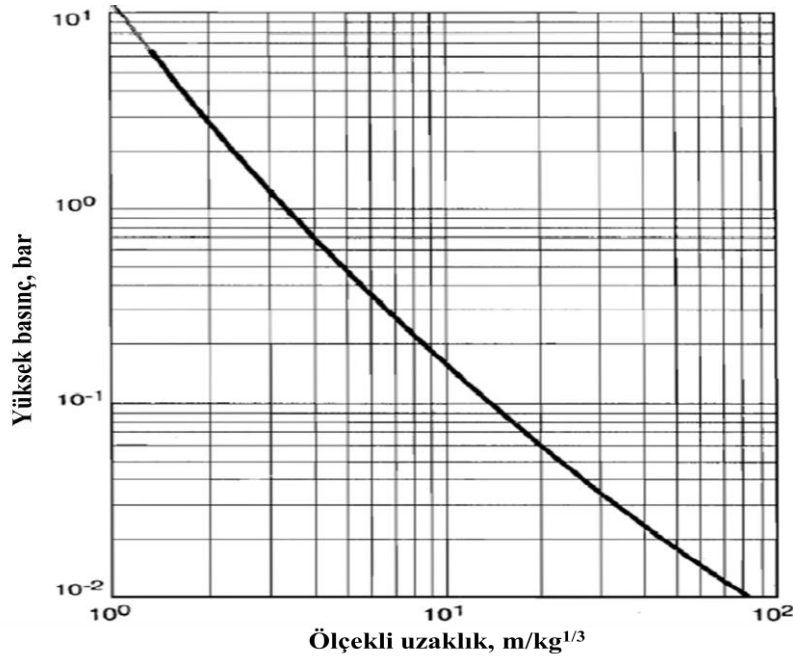
$$\check{R} = \frac{Z}{W_{TNT}^{1/3}} \quad (2.12)$$

Burada;

$\check{R}$:Hopkinson ölçekli uzaklık(m/kg^{1/3})

Z :Patlama merkezine olan uzaklık (m)

W_{TNT} : Patlayıcı ortamın TNT eşdeğeri kütlesi(kg)



Şekil 2.25. Hopkinson ölçekli uzaklık grafiği

Hopkinson ölçekli uzaklık grafiği kullanılarak bulunan yüksek basıncın yapılar ve insanlar üzerindeki farklı mesafelerde oluşturacağı etkiler sırasıyla Çizelge 2.10'da (Crowl, 2002) ve Çizelge 2.11.'de (Kent, 2007: 123) verilmiştir.

Çizelge 2.10. Yüksek basıncın yapılar üzerindeki etkisi

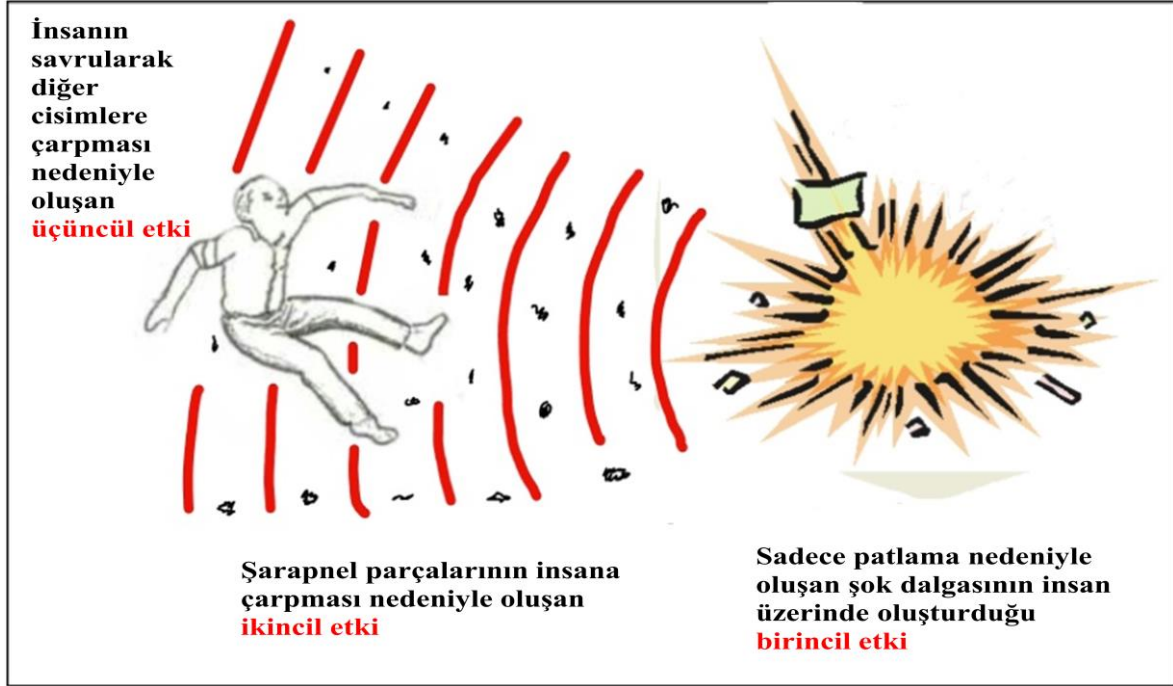
Yüksek basınç (mbar)	Yüksek basınç (kPa)	Hasar
2	0,20571	Çatlak büyük pencereler kırılabilir.
2,7	0,27428	Güçlü ses ortaya çıkar.
10	1,02855	Cam kırılması için sınır değeri.
20	2,0571	%95 oranında ciddi hasar olmaz.
34	3,4285	Büyük ve küçük pencereler genellikle kırılır.
48	4,7999	Bina yapısında küçük hasarlar olabilir.
68	6,857	Binalarda kısımlar yıkılabilir.
89	8,9141	Binaların çelik kısımları hafifçe eğilebilir
137	13,714	Güçlendirilmemiş beton çökebilir.
158	15,7711	Ciddi yapısal hasarlar için alt sınır.
200	20,571	Çelik yapı binalar eğilebilir.
410	41,142	Hemen hemen bütün evler yıkılır.
480	47,999	Yüklü tren vagonları ters dönebilir.
620	61,713	Yüklü tren vagonları tamamen yok olur.
685	68,57	Binalar tamamen yıkılır.
20600	2057,1	Krater çukuru oluşur.

Çizelge 2.11. Yüksek basıncın insanlar üzerindeki etkisi

Yüksek basınç (mbar)	Yüksek basınç (kPa)	Zarar
70	7	Bir insanın yere devrilmesi sınırı
350	35	Kulak zarının zarar görmesi
1035	103,5	Akciğerin zarar görmesi
2415	241,5	Ölüm sınırı
3450	345	%50 ölüm
4481	448	%99 ölüm

Çizelge 2.11.'de verilen değerler; cinsiyet ve yaş gibi koşullar ile kişinin açık alanda veya korunaklı bir yapı içerisinde bulunması gibi şartlar değiştikçe farklılık gösterebilmektedir. Örneğin 210 mbar yüksek basınç nedeniyle kapalı bir hacimdeki bir insanın ölüm olasılığı %20 iken, açık bir alanda bu oran sıfıra düşmektedir. Benzer şekilde 350 mbar yüksek basınç nedeniyle kapalı bir hacimdeki bir insanın ölüm olasılığı %50 iken, açık alanda bu oran %15'dir. 700 mbar basınçta ise insanın kapalı alanda veya açık alanda bulunması arasındaki fark ortadan kalkmaktadır (Health and Safety Executive [HSE], 2013: 10).

Yüksek basınç nedeniyle oluşan şok dalgasının vereceği zarar 3 kategoriye ayrılır. Birincil etki; sadece patlama nedeniyle oluşan şok dalgasının insan üzerinde oluşturduğu zarardır. İkincil etki; oluşan yüksek basınçla birlikte etrafa dağılan şarapnel parçalarının oluşturacağı zarardır. Üçüncü etki ise, şok dalgası nedeniyle insanın savrulmasıyla sert cisimlere çarpması sonucu oluşan zarardır. Şekil 2.26.'da patlama nedeniyle oluşan şok dalgasının insanda oluşturacağı zarar türleri gösterilmiştir (Oklahoma Institute of Disaster and Emergency Medicine, 2010: 8).



Şekil 2.26. Yüksek basınç nedeniyle oluşan şok dalgasının oluşturacağı etkiler

İtalya, Fransa, İrlanda gibi bazı ülkelerde patlama sonucu oluşan yüksek basıncın oluşturacağı etkinin belirlenmesinde dikkate alınan değerler Çizelge 2.12.'de verilmiştir (INERIS, 2013: 7,35).

Çizelge 2.12. Bazı ülkelerde dikkate alınan yüksek basınç değerleri

Ülke	Yüksek basınç (mbar)	Zarar sınıfı
İrlanda	20	Güvenli mesafe
	35	Hafif zarar
	170	Orta zarar
	350	Ciddi zarar
	830	Komple yıkım
İtalya	30	Geri döndürülebilir zarar
	70	Geri döndürülemez zarar
	140	Ölüm eşiği
	300-600	%100 ölüm, domino etkisinin başlangıç sınırı
Fransa	50	Geri döndürülebilir zarar
	140	İnsan hayatı için ciddi tehlikeye karşılık gelen ilk ölümcül etkiler eşiği
	200	İnsan hayatı için çok ciddi tehlikeye karşılık gelen önemli öldürücü etkiler eşiği, domino etkisinin başlangıç sınırı

2.6.4. Sıcaklığa bağlı değişen özelliklerin hesaplanması

Patlama etkisinin hesaplanabilmesi için, patlamaya neden olacak kimyasal maddenin fiziksel ve termofiziksel parametrelerinin bilinmesine ihtiyaç vardır. Zira yukarıda verilen eşitliklerin birçoğunda, kimyasalların bu özellikleri parametre olarak kullanılmaktadır. Bu parametrelerin bir çoğu sıcaklığa bağlı olarak değişmektedir. Sıcaklığa bağlı olarak değişen bu parametrelerin tahmin edilmesinde Yaws ve DIPPR gibi konseptler bulunmaktadır. Kimyasal maddelerin fiziksel özelliklerinin hesaplanmasında kullanılan Yaws konseptine ait bazı eşitlikler aşağıda verilmiştir (Bosch ve Weterings, 2005; Yaws, 1995).

$$P_b = 133,322 \times 10^{A + \frac{B}{T} + C \times \log T + DT + ET^2} \quad (2.13)$$

Burada;

P_b :Buhar basıncı(Pa)

T :Sıcaklık(K)

A-E :İlgili kimyasala ait katsayı(-)

$$\rho_L = \frac{A}{B \left[1 + \left(1 - \frac{T}{C} \right)^D \right]} \times MA \quad (2.14)$$

Burada;

ρ_L :Sıvının yoğunluğu(kg/m³)

T :Sıcaklık(K)

MA :Molekül ağırlığı(kg/kmol)

A-D :İlgili kimyasala ait katsayı(-)

$$C_{P,L} = \left[\frac{A + BT + C(T)^2 + D(T)^3 + E(T)^4}{MA} \right] \quad (2.15)$$

Burada;

$C_{P,L}$:Sıvının sabit basınçtaki ısı kapasitesi(J/kgK⁻¹)

T :Sıcaklık(K)

MA : Molekül ağırlığı(kg/kmol)

A-D :İlgili kimyasala ait katsayı(-)

$$C_{P,G} = \left[\frac{A + BT + C(T)^2 + D(T)^3 + E(T)^4}{MA} \right] \quad (2.16)$$

Burada;

$C_{P,G}$:Sıvının sabit basınçtaki ısı kapasitesi(J/kgK⁻¹)

T :Sıcaklık(K)

MA : Molekül ağırlığı(kg/kmol)

A-D :İlgili kimyasala ait katsayı(-)

3. METOT

3.1. Uygulama Yapılan Tesisin Tanıtımı

Uygulama ülkemizde kurulu ve savunma sanayine hizmet veren bir patlayıcı madde üretim tesisinde yapılmıştır. Tesisin adı, yeri, üretim metotları gibi bazı bilgiler güvenlik nedeniyle verilmemiştir. Tesiste uygulama yapılan bölümler aşağıdaki gibi seçilmiştir.

- Nitroselüloz üretim atölyesi
 - a) Asit hazırlama
 - b) Hallaç
 - c) Nitrasyon
 - d) Otoklav ve Kırma
 - e) Soda kaynatma ve süzme
 - f) Nitroselüloz deposu
- Küresel barut üretim atölyesi
 - a) Ana bina
 - b) Etil asetat depolama
 - c) Kuru kaplama
 - d) Eleme
 - e) Barut deposu

Nitroselüloz üretim atölyesi-Asit hazırlama

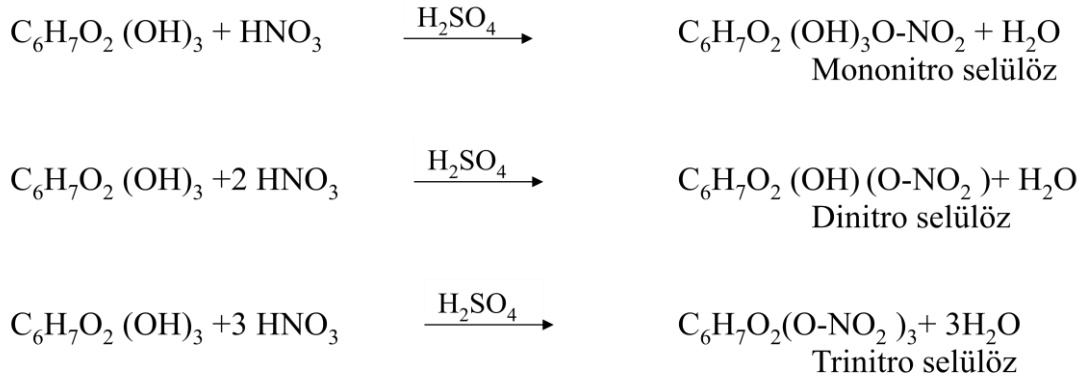
Nitroselüloz üretiminde yeni asit karışımı ancak tesisin işletmeye ilk alınışında hazırlanır. İşletme süresince asit santrifüjünde nitroselülozdan ayrılan reganye asiti (artık asit) üretilen nitroselüloz cinslerine göre ayrı ayrı tanklarda toplanır. Yapılan analiz ile bileşimi tespit edilir. Gerekli nitrik asit ve oleum ilaveleri yapılarak ıslah edilir ve tekrar kullanılmaya hazır hale getirilir. Nitrolama esnasında sarf edilen nitrik asitin telafisi için %98’lik nitrik asit ilave edilir. Havadan absorbe edilen, reaksiyon esnasında teşekkül eden ve pamuk ile birlikte ortama giren suyun tutulup tahliye edilmesi için ise bünyesinde %22-25 serbest SO_3 bulunan oleum ilave edilir.

Nitroselüloz üretim atölyesi-Hallaç

İmalatçı kuruluşlardan temin edilen ve selüloz kaynağı olarak kullanılan saf pamuk, balyalar halinde fabrikaya gelir. Nitrolama asitlerinin pamuğa tam nüfus edebilmesi için gevşek bir kütle haline getirilmesi gereklidir. Bu nedenle pamuk, hallaç tezgâhından geçer, gevşek bir kütle haline gelir. Tezgâhtan çıkan pamuk içinde katı düğümcükler ve boynuzumsu sert kütleler bulunmamalıdır. Hallaç tezgâhından sonra bir değirmenden geçirilerek ikinci bir işleme tabi tutulur. Bu işlemden sonra pnömatrik nakil hattı ile nitrolamaya sevk edilir. Nitroselüloz tesisine giden pamuğun miktarı hallaç tezgâhı tarafından otomatik ayarlanmaktadır. Nitrasyondaki bantlı teraziden gelen sinyallere göre otomatik olarak istenilen miktarda pamuğu sevk etmektedir. Tesise gelen pamuk miktarı cihaz ekranında izlenmektedir.

Nitroselüloz üretim atölyesi-Nitrasyon

Nitrolama reaksiyonun gerçekleştirildiği ünitedir. Bu üniteye nitrolama reaksiyonu, biri ön biri son nitratör olan iki adet sürekli karıştırıcı tank reaktöründe gerçekleştirilir. Hallaç ünitesinden sevk edilen pamuğun asitle derhal karışması için ön nitratör karıştırıcısı üst palet seviyesine kadar doldurulur. Bu doluluk, nitratör hacminin %60' dır. Seviye bu şekilde ayarlandığında nitratöre gelen pamuk, derhal karıştırıcı kanatları tarafından dağıtılır ve aynı zamanda nitratöre gelen nitrolama asitinin de karıştırıcı tarafından yağmur haline getirilmesi nedeniyle asitle ıslatılır. Böylece pamuk, asit yağmuruna maruz bırakılarak ıslanmış olur ve nitrolama başlar. Bu nitrolama ürünü son nitratöre aktarılır ve burada nitrasyon reaksiyonun tamamlanması için gerekli olan 45 dakika kadar tutulur. Son nitratörden sonra nitrolanmış selüloz içerisindeki asit ayırma işlemine tabi tutulur. Bu amaçla, karışım yatay konumlandırılmış bir santrifüj yardımıyla süzülür. Ayrılan artık asit ait olduğu melanj(karışık asit) tankına gönderilir. Santrifüjdeki nitroselüloz şebeke suyu ile toplama tanklarına sevk edilir. Şekil 3.1.'de nitrolama reaksiyonları gösterilmiştir.



Şekil 3.1. Nitrolama ünitesinde gerçekleşen nitrasyon reaksiyonları

Nitroselüloz üretim atölyesi-Otoklav ve Kıyma

Santrifüjde asitten ayrılan nitroselüloz (NS) otoklava beslenir. Nitroselülozu içerisindeki asit kalıntılarından ayırmak ve bu vesileyle stabilizasyonunu sağlamak ve istenilen viskoziteye getirmek amacıyla otoklavda belirli miktarda yıkama operasyonunu müteakip buhar ile ısıtılarak basınç altında kaynatılır. Bu işlemden sonra su ile 4-5 kez yıkanarak kıyma makinesine(rifayner) gönderilir. Otoklavda kaynatma işleminden sonra, nitroselüloz elyafları rifaynere (kıyma makinesine) beslenir. Kıyma makinesinde NS elyaflarının boyu kesilerek kısaltılır. Bu operasyonla nitroselüloza ileri seviyede stabilizasyon kazandırılır.

Nitroselüloz üretim atölyesi-Sodalı kaynatma ve süzme

Kıyma makinesinde istenilen elyaf uzunluğuna kısaltılan nitroselüloz, su buharı ile atmosferik kazanlarda ve bir miktar soda ilavesiyle kaynatılır. Otoklav (asitli kaynatma) ve kıyma işlemlerinin tamamlanmasından sonra, bu işlemler esnasında açığa çıkan asitli maddelerin nötral veya hafif bazik su ile yıkanarak uzaklaştırılması gerekir. Sodalı kaynatmada amaç, nitroselüloz bünyesindeki asidi açığa çıkararak, soda ile gidermek ve nitroselülozun stabilitesini artırmaktır.

Yıkama işleminden geçen nitroselüloz şarjlarının azot yüzdesinin ayarlanması ve istenilen bir azot yüzdesinin oluşturulması için değişik azot yüzdelere sahip NS şarjları bir havuzda karıştırılır. Böylece aynı özelliklere sahip nitroselüloz kafelesi elde edilir. Ancak, nitroselüloz içinde bulunan düğümçüklerin, barut imalatında hamurlaşmadan kalarak, preslerde süzme tellerini tıkayabileceği ve tellerden geçen hamurlaşmamış nitroselüloz

kırıntılarının barut tanelerinde düzensiz yanmaya sebep olabileceği göz önünde bulundurularak, süzmeden önce bir düğüm ayırıcıdan geçirilir. İmal edilen nitroselülozun, müteakip imalat operasyonlarında kullanılması için süzülerek, variller içinde ambalajlanmasına ihtiyaç vardır. Süzme işlemi, kontinu (devamlı) çalışan sürgülü santrifüjlerde yapılmaktadır. Yatay konumlandırılmış santrifüjlerde süzülen nitroselülozlar, plastik veya galvanizli variller içerisine alınır ve nitroselüloz deposuna sevk edilir.

Nitroselüloz üretim atölyesi-Nitroselüloz deposu

Üretilen nitroselülozlar kafiyeleler halinde, bir sonraki operasyona geçmek üzere, %30 rutubetli süzülmüş halde ve plastik veya galvanizli varillerin içinde depolanır. Depoda variller ağızları kapalı vaziyette tutulur ve doğrudan güneş ışığına temas etmez.

Küresel barut atölyesi-Ana bina

Ana binada yapılan işlemler; hammadde hazırlama, tanelendirme, yıkama, eleme ve kaplama ve laminasyon aşamalarından oluşmaktadır. Hammadde hazırlama aşamasında; tanelendirme reaktöründe kullanılacak tüm hammaddeler su dolu tanklarda hazırlanır. NS (nitroselüloz) ve NGL (nitrogliserin) pastası, arap sakızı ve sodyum sülfat ayrı ayrı karıştırılarak hazırlanır. Homojenize olmuş aktif maddeler ve su karışımı tanelendirme reaktörüne alınarak, etil asetat (organik çözücü) ve difenilamin (stabilizatör) ile karıştırılır. Bu operasyon, hamur halinde ve jelatinize olmuş bir kütle oluşuncaya kadar devam eder.

Jelatinizasyon işlemi bittikten sonra arap sakızı tankındaki arap sakızı-su karışımı tanelendirme reaktörüne boşaltılarak belirli bir devir ve sürede karıştırma işlemi yapılır. Bu aşamada tam küresel olmasada parçalanmış tanecikler elde edilir. Hem ortam viskozitesini artırmak, hem de elde edilen taneciklerin birbirine yapışmasını engellemek için koruyucu olarak arap sakızı eklenir. Arap sakızı, taneciklerin bünyesine girmeyen doğal bir maddedir ve yıkama ile ortamdan uzaklaştırılmaktadır.

Arap sakızı ilavesinden sonra hehidrasyon amacıyla sodyum sülfat tankındaki sodyum sülfat-su karışımı çözelti tanelendirme reaktörüne alınarak belirli bir devir ve sürede karıştırma işlemi yapılır. Arap sakızı ilavesinden sonra kütle parçalanmaya ve tanecikler oluşmaya başlar. Ortama, taneciklerin içindeki suyu uzaklaştırmak için sodyum sülfat

eklenir ve dehidrasyon operasyonu başlamış olur. Ayrıca sodyum sülfat parçalanmış taneciklerin küresel bir hal almasına da katkı sağlar.

Küresel form kazanan taneler oluşturulduktan sonra ortamdaki etil asetattın geri kazanılması ve tanelerin sertleştirilmesi gerekmektedir. Bu amaçla etil asetat destilasyona tabi tutulur. Kaynama sıcaklığına ulaşınca (yaklaşık 69°C) ortamdan ayrılan etil asetat, kolonlarda soğutulur ve dekantörde toplanır. Dekantörde su altta ve etil asetat üstte toplanacak şekilde iki faz oluşur. Su, tankın altından alınarak etil asetattan ayrılır. Geri kazanılan etil asetat, etil asetat parkına gönderilir. Reaktördeki barut tanelerinin yıkama tankına alınması ve birkaç kere yıkanması ile tanelendirme reaktöründeki tüm operasyonlar tamamlanmış olur.

Küresel form kazandırılan barutlar, reaktörde karıştırma hızının değiştirilmesiyle farklı ebatlarda üretilir. Ancak her halde üretilen barutlar farklı çaplarda olabilmektedir. Bu amaçla barut tanelerinin tane büyüklüklerine göre sınıflandırılması için elenmesi gerekmektedir. Eleme operasyonunun amacı taneleri, çaplarına göre sınıflandırmaktır.. Eleme operasyonu, hem riski azaltmak hem de transferi kolaylaştırmak için su altında yapılmaktadır. Eleme tamamlandığında barut taneleri boyutlarına göre 7 ayrı tankta toplanmaktadır.

Yıkama işlemi tamamlanan ve bekleme tankına alınan tanecikler yanma hızını düzenlemek için dibütil ftalat ile kaplanır. Bekleme tanklarında karıştırılan taneler piknometrik tanklara gönderilir. Su-barut karışımı tankın silindirik yüzeyine tanjant açısıyla girer ve böylece taneleri hızlı bir şekilde alarak çökmesini sağlar, yukarıda kalan su ise taşma seviyesinden dışarı akar. Piknometrik tartıda tartılan barut, kaplama reaktörüne gönderilerek ısıtma işlemi yapılır. Ayrı bir tankta karıştırılarak hazırlanan su, arap sakızı, köpük kesici madde ve dibütilftalat kaplama reaktörüne beslenir. Kaplama bittikten sonra reaktör soğutulur. Laminasyon işlemiyle ana binada yapılan işlemler son bulur.

Küresel formadaki barut tanelerinin birim hacimdeki ağırlıklarının arttırılması bu sayede barut hakkının arttırılarak yüksek basınç ve hız elde edilmesi amacıyla taneler lamine edilir. Barut yıkandıktan sonra bekleme tanklarına alınarak karıştırılır. Daha sonra da belirli bir debideki su-barut karışımı esnek bir boru ve pompa yardımıyla laminatörlere pompalanır. Laminatörden geçen su-barut karışımı süzme tanklarına alınır. Su-barut

süspansiyonu bu tanklardan alt kısmında elek bulunan konteynırlara gönderilerek karışımındaki suyun uzaklaştırılması sağlanır.

Küresel barut atölyesi-Etil asetat depolama

Bu tesiste 2 adet 11 m³ hacminde yatay ve silindirik etil asetat tankı bulunmaktadır. Küresel barut tesisinin ihtiyaç duyduğu etil asetat bu bölümden karşılanmaktadır. Saf etil asetat dökme halde tankerlerle getirilmekte ve depolara boru devreleriyle transfer edilmektedir. Destile edilerek geri kazanılan etil asetat dekantörlerde suyu ayrıldıktan sonra yine bu tanklara alınmaktadır.

Küresel barut atölyesi-Kuru kaplama

Ana binadan rutubetli vaziyette getirilen barutlar kuru kaplama binasına getirilir. Bu operasyonun amacı barutu kurutmak, grafit ilave ederek iletkenlik sağlamak (antistatik yapı) ve barutun statik elektriğini uzaklaştırmaktır. Bunun yanı sıra baruta bazı modifiye edici maddeler de ilave edilebilir. Bu ilavelerin amacı ise barutun alevini azaltma, ilave oksijen sağlama ve yüzey pürüzlülüklerini azaltma gibi özelliklerinde iyileştirme sağlamaktır. Yanıcılığı arttırmak için potasyum nitrat ve iletkenliği arttırmak için grafit eklenir.

Küresel barut atölyesi-Eleme

Kurutma işleminden çıkarılan barutlar, kullanılacak ebatların üstünde ve altında kalan barut tanelerinden ayrılması için elenmektedir.

Küresel barut atölyesi-Barut deposu

Üretime yönelik tüm işlemleri bitirilen barut şarjları ya da bu şarjların birleştirilmesi şeklinde bir araya getirilen barut kafieleri bu amaçla yapılmış barut depolarına kaldırılır.

3.2. HTEA Çalışması

Tesiste gerçekleştirilen HTEA çalışması şu başlıklardan oluşmaktadır:

- Hazırlık çalışmaları,
- Tehlike kaynaklarının tespit edilmesi,
- Olası hata etkilerinin, nedenlerinin ve mevcut kontrollerin belirlenmesi,
- Olasılık, şiddet, saptanabilirlik değerlerinin belirlenmesi ve RÖS değerlerinin hesaplanması,
- RÖS'e göre hataların derecelendirilmesi ve alınması gerekli önlemlerin kararlaştırılması,
- Yapılan çalışmaların dokümanite edilmesi.

3.2.1. Hazırlık çalışmaları

HTEA hazırlık çalışmaları kapsamında öncelikle çalışma ekibi oluşturulmuştur. Bu ekip bir üst seviye yönetici, bir iş güvenliği uzmanı, bir vardiya amiri ve üç çalışandan oluşmuştur. Analizi yapılacak bölüm değiştiğinde ekipteki çalışanlarda değiştirilmiştir.

Çalışma grubuna iş güvenliği uzmanı tarafından HTEA metodunun uygulaması konusunda eğitim verilmiştir. Daha sonra çalışmanın kapsamı belirlenmiş ve aşağıda gösterildiği gibi kaba bir yol haritası çıkartılmıştır. Bu çalışmada kapsamında HTEA metodu uygulanırken oluşturulan çalışma ekibi ile beyin fırtınası şeklinde toplantılar düzenlenmiştir.

3.2.2. Tehlike kaynaklarının tespit edilmesi

Tehlike kaynakları (hata türleri) belirlenirken Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı tarafından çıkarılmış çalışma hayatına ilişkin mevzuat, çevre mevzuatı, uluslar arası standartlar, endüstri iyi uygulama örnekleri, endüstride ve tesiste geçmişte yaşanan kazalar, ramak kala kayıtları göz önünde bulundurularak işletmede risk oluşturabilecek hususlar tespit edilmeye çalışılmıştır. Bu tehlike kaynaklarından bazıları şöyledir.

- Fiziksel tehlikeler(titreşim, gürültü, termal konfor şartları, iş ekipmanları ve makineler)
- Kimyasal tehlikeler(patlayıcı, oksitleyici, çok kolay alevlenir, kolay alevlenir, alevlenir, toksik, çok toksik, zararlı, aşındırıcı, tahriş edici, alerjik, kanserojen, mutajen, üreme için toksik ve çevre için tehlikeli maddelerin kullanımdan kaynaklanan tehlikeler)
- Elektrik(yüksek gerilim, statik yük, kısa devre)

- Yangın ve patlama(patlayıcı maddeler ve patlayıcı ortamın doğasında var olan tehlikeler)
- Çalışma ortam ve koşulları(kapalı ortam çalışmaları, kaygan zemin, sıcak ve soğuk ortamlar, yalnız çalışma, iş izni olmaksızın çalışma)
- İnsan hatalarından kaynaklanan tehlikeler(kurallara uymadan çalışma, baskı ve stres altında çalışma, dalgınlık, kendine aşırı güven, yorgunluk)

3.2.3. Olası hata etkilerinin, nedenlerinin ve mevcut kontrollerin belirlenmesi

Tehlike kaynaklarının(hata türlerinin) tespit edilmesinden sonra bu tespit edilen tehlikelerin her biri ayrı ayrı dikkate alınarak, bu tehlikelerden kaynaklanabilecek risklerden kimlerin, nelerin, ne şekilde zarar görebileceği belirlenmeye çalışılmıştır. Bu işlemin ardından riske neden olan hatanın nedeninin veya nedenlerinin ne olduğuna yönelik çalışma yapılmıştır. Son olarak ise ele alınan hata nedeniyle oluşacak riskin önlenmesi veya azaltılması amacıyla işletmede mevcut kontrol tedbirleri tespit edilmiştir.

3.2.4. RÖS değerlerinin hesaplanması

Olasılık, şiddet ve saptanabilirlik değerlerinin belirlenmesinde genel kabul görmüş olan Pillay ve Wang'a ait Çizelge 2.1., Çizelge 2.2. ve Çizelge 2.3.'de gösterilen HTEA bileşenleri tabloları kullanılmıştır. Olasılık, şiddet ve saptanabilirlik değerlerinin belirlenmesi aşamasında beyin fırtınası şeklinde toplantılar düzenlenmiştir. Subjektifliğin azaltılması amacıyla her bir üyenin ilgili riske atadığı puanlar toplanmış ve bu puanların ortalaması alınarak çıkan sonuç RÖS hesabında dikkate alınmıştır.

3.2.5. Risklerin derecelendirilmesi ve alınması gerekli önlemlerin kararlaştırılması

Eş. 2.1 kullanılarak hesaplanan RÖS değerine göre kabul edilebilirlik kriterinin belirlenmesi ve buna göre alınması gerekli önlemlerin belirlenmesinde ise Çizelge 2.4.'de verilen ve Stamatis tarafından oluşturulan tablodan yararlanılmıştır.

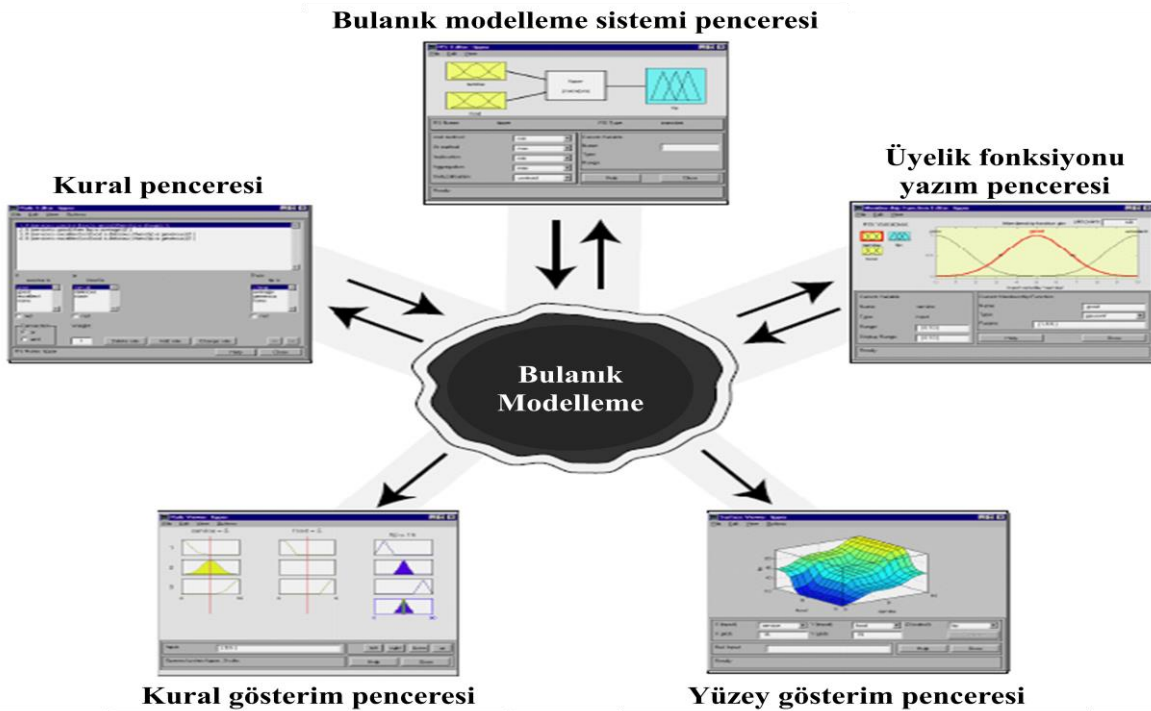
3.2.6. Yapılan çalışmaların dokümanite edilmesi

Tesiste gerçekleştirilen HTEA çalışmaları aşama aşama uygulandıktan sonra yapılan çalışmalar dokümanite edilmiştir.

3.3. Bulanık Mantık İle Risk Analizi

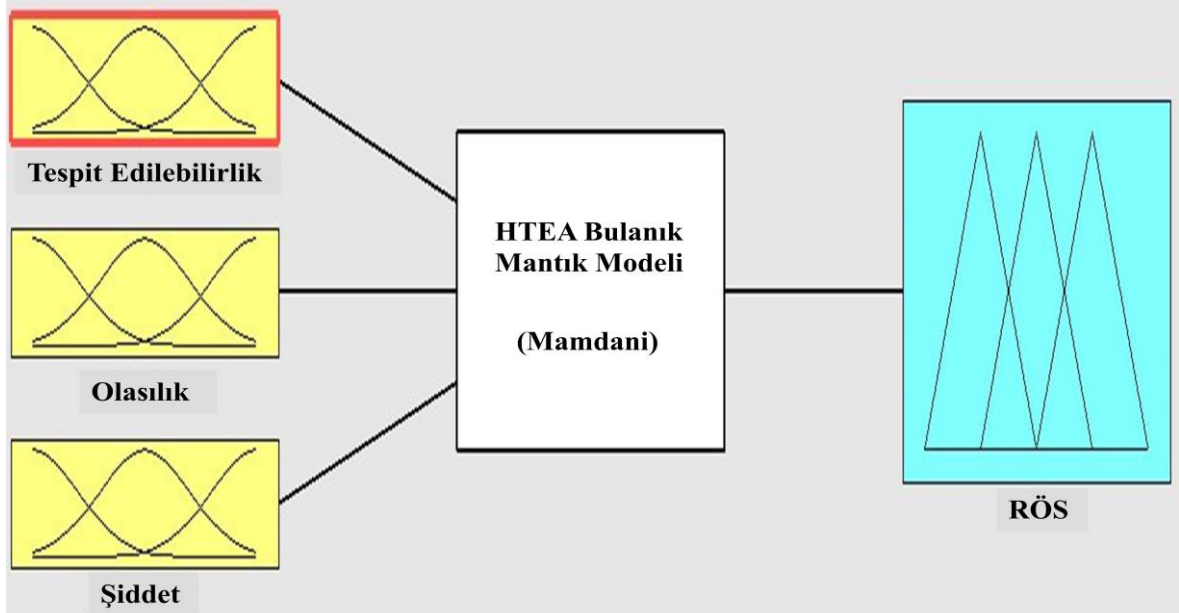
HTEA yöntemine ait bileşenlerin, ekip üyeleri tarafından tespit edilmesi sürecinde yaşanan subjektifliğin azaltılması ve belirsizliklerin giderilebilmesi amacıyla, RÖS değerlerinin hesaplanmasında birde Bulanık Mantık yaklaşımından yararlanılmıştır. Bu sayede Bulanık Mantık modelinin kurulması için MATLAB paket programı kullanılmıştır. Fakat yeterli sayısal verinin bulunmaması ve bazı kriterlerin belirlenmesinde uzaman görüşünün diğer tekniklerden daha sağlıklı sonuçlar vermesi nedeniyle bulanık mantık yaklaşımının HTEA tekniği ile birlikte kullanılmasına karar verilmiştir.

MATLAB paket programında bulanık mantık kullanılarak bir model veya karar destek sistemi geliştirilmek için Şekil 3.2.'de gösterilen 5 pencere kullanılır. Bunlar; üyelik fonksiyonu yazım penceresi, bulanık çıkarım sistem penceresi, kural penceresi, kural gösterim penceresi ve yüzey gösterim penceresidir.



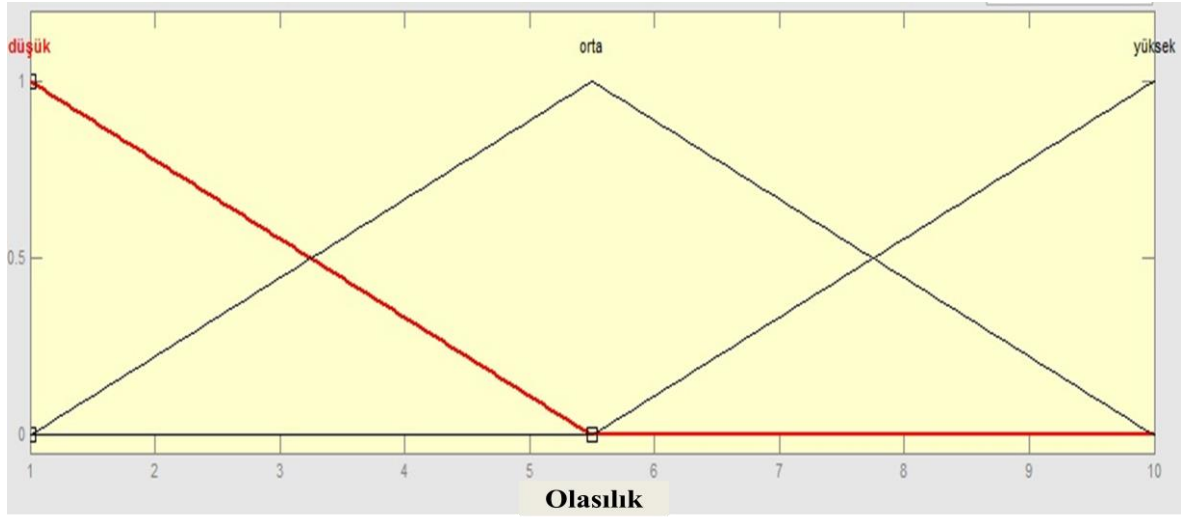
Şekil 3.2. MATLAB paket programında Bulanık modelleme sistemi

MATLAB paket programı kullanılarak, HTEA yöntemine ait bileşenler için 3 girdi ve 1 çıktı değişkeni olan ve Şekil 3.3.'de gösterilen model oluşturulmuştur.

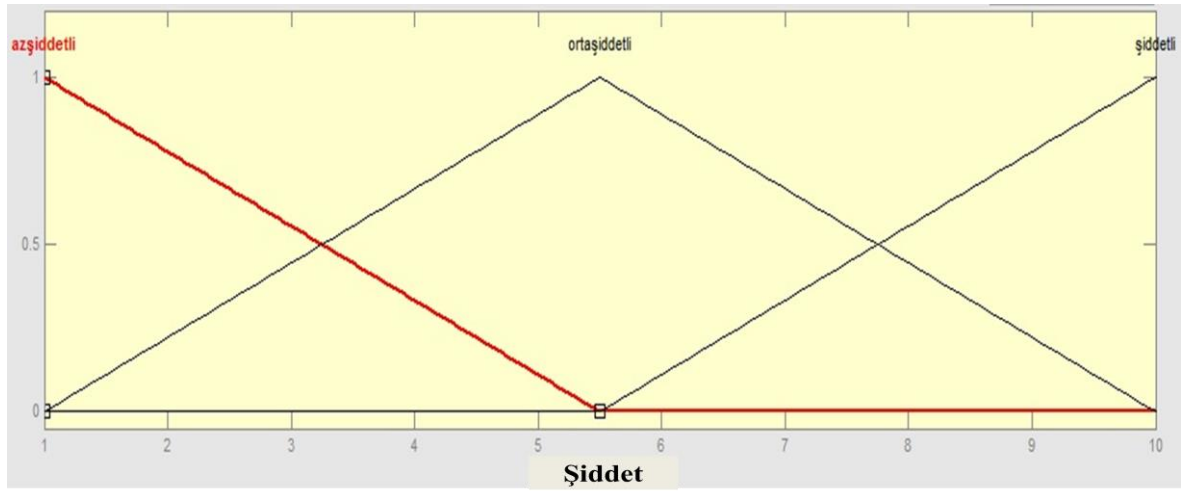


Şekil 3.3. Bulanık HTEA modeli

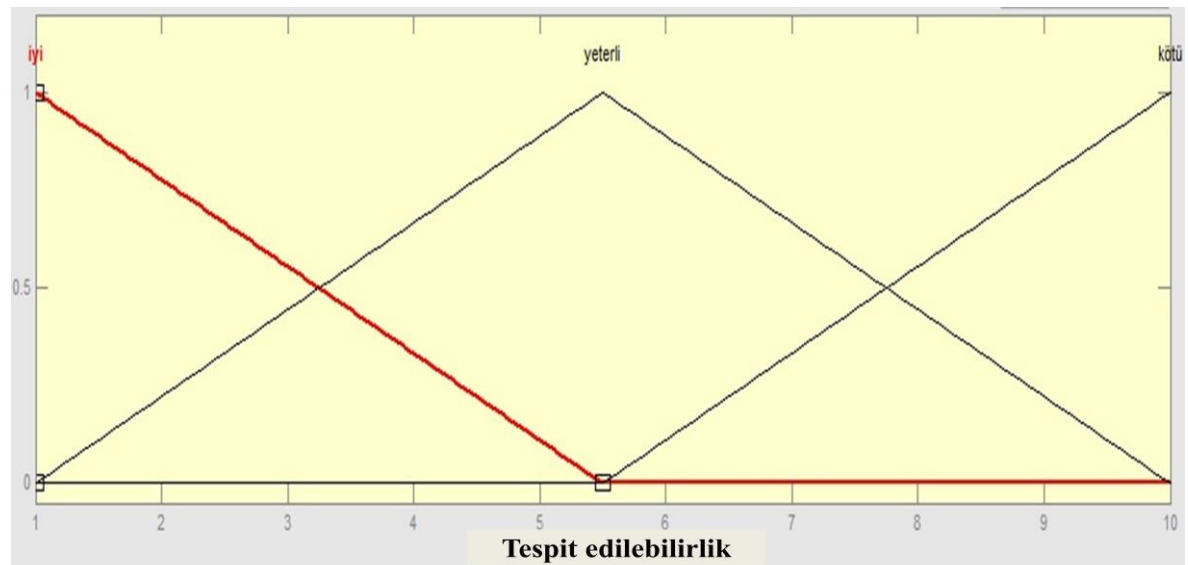
Oluşturulan modelde öncelikle giriş ve çıkış verileri belirlenmiştir. RÖS değerlerinin belirlenmesi amacıyla oluşturulan modelin olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik olmak üzere 3 girdisi ve 1 çıktısı (RÖS) sırasıyla Şekil 3.4., Şekil 3.5., Şekil 3.6. ve Şekil 3.7.'de gösterildiği şekilde sözel kavramlar ile tanımlanan bulanık alt kümelerden oluşturulmuştur. Geliştirilen modelde olasılık kümesi için düşük, orta, yüksek; şiddet kümesi için az şiddetli, orta şiddetli ve şiddetli tespit edilebilirlik için ise; iyi, yeterli ve kötü olarak 3 tercih seçilmiş ve yeterli kabul edilmiştir.



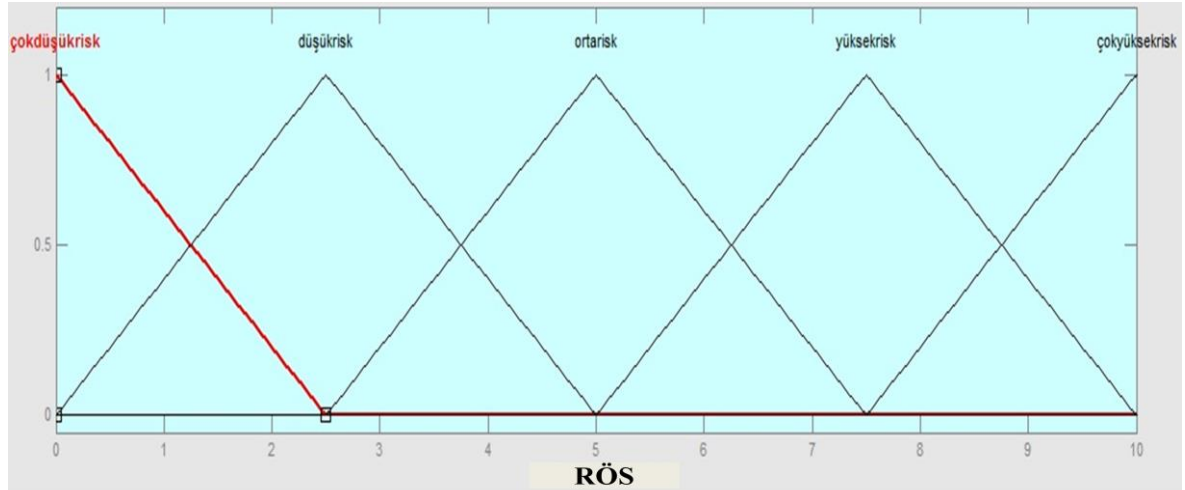
Şekil 3.4. Olasılık giriş kümesi



Şekil 3.5. Şiddet giriş kümesi



Şekil 3.6. Tespit edilebilirlik giriş kümesi



Şekil 3.7. Risk öncelik sayısı (RÖS) çıktı kümesi

Giriş verileri MATLAB’de üçgen üyelik fonksiyonları kullanılarak bulanıklaştırılmıştır. Modelde, 27 kuraldan oluşan Çizelge 3.1.’de gösterilen bir kural tabanı hazırlanmıştır. Kurallar, çalışma ekibi üyeleri tarafından, olası bütün durumlar değerlendirilmek suretiyle yazılmıştır. Ardından, Mamdani bulanık çıkarım yöntemi kullanılmış ve ağırlık merkezi durulaştırma yöntemi ile durulaştırma yapılarak Risk Öncelik Sayıları (RÖS) tespit edilmiştir.

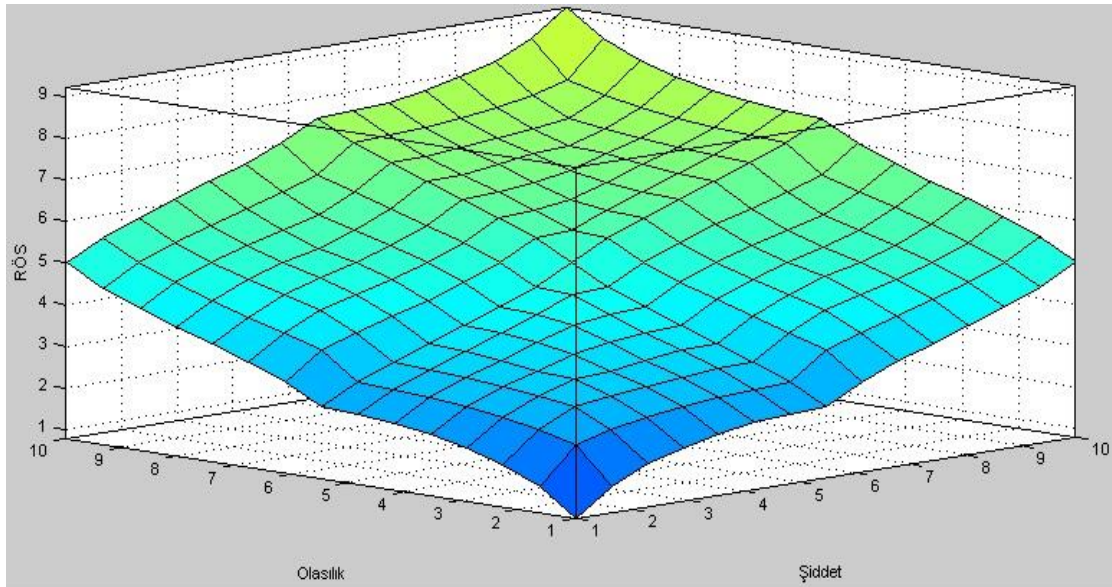
Çizelge 3.1. Kural tabanı

Olasılık	Şiddet	Tespit Edilebilirlik		
		İyi	Yeterli	Kötü
Yüksek	Şiddetli	Yüksek risk	Çok yüksek risk	Çok yüksek risk
	Orta şiddetli	Orta risk	Yüksek risk	Çok yüksek risk
	Az şiddetli	Düşük risk	Orta risk	Yüksek risk
Orta	Şiddetli	Orta risk	Yüksek risk	Çok yüksek risk
	Orta şiddetli	Düşük risk	Orta risk	Yüksek risk
	Az şiddetli	Çok düşük risk	Düşük risk	Orta risk
Düşük	Şiddetli	Düşük risk	Orta risk	Yüksek risk
	Orta şiddetli	Çok düşük risk	Düşük risk	Orta risk
	Az şiddetli	Çok düşük risk	Çok düşük risk	Düşük risk

Yukarıdaki çizelge kullanılarak oluşturulan kurallardan bazıları şöyledir.

- EĞER olasılık; yüksek VE şiddet; şiddetli VE tespit edilebilirlik; kötü İSE o halde RÖS; çok yüksek risktir.
- EĞER olasılık; orta VE şiddet; orta şiddetli VE tespit edilebilirlik; yeterli İSE o halde RÖS; orta risktir.
- EĞER olasılık; düşük VE şiddet; az şiddetli VE tespit edilebilirlik; iyi İSE o halde RÖS; çok düşük risktir.

Olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik giriş verileriyle elde edilen çıkış değerleri arasındaki ilişkiyi gösteren üç boyutlu yüzey, Şekil 3.8.'de gösterildiği gibidir.



Şekil 3.8. Girdi ve çıktı değişkenlerine bağlı olarak oluşturulan üç boyutlu yüzey

Uygulama amaçlı seçilen patlayıcı madde üretim tesisinde, HTEA metodu uygulanarak risk faktörlerinin ortaya konulması ve bu risk faktörlerinin HTEA tekniğindeki bileşenler (olasılık, şiddet, tespit edilebilirlik) kullanılarak risk öncelik sayılarının (RÖS) tespit edilerek derecelendirilmesi ile aynı risk faktörlerinin birde bulanık mantık yaklaşımıyla bulanık risk öncelik sayılarının (B RÖS) tespit edilmesi sonucunda oluşturulan çizelge EK-1'de verilmiştir.

3.4. Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi Bilgisayar Programı

Patlayıcı madde üretim tesisinde risk faktörlerinin ortaya konulması, bu risklerin büyüklüklerinin belirlenmesi amacıyla iki ayrı metotla derecelendirilmesiyle her iki metotta da en yüksek olan risk, patlama riski olarak ortaya çıkmıştır.

Patlama riskinin tam olarak anlaşılabilmesi, bu riskin etkisinin ne olduğunun bilinmesine bağlıdır. Patlama riskinin değerlendirilmesi aynı zamanda mevzuattan kaynaklanan bir zorunluluktur. Öte yandan patlama riskinin değerlendirilmesi, bir dizi kabullerin yapılması gerektiği, matematiksel modellerin kullanıldığı, karmaşık ve uzmanlık gerektiren bir süreçtir. Bu sebepler dolayısıyla ve patlama riskinin değerlendirilmesini uzman olmayan kişilerin de yapabilmesi amacıyla “Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi” kelimelerinde var olan harflerin kısaltması olan ve PAREA adı verilen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir.

PAREA programında üç farklı patlama senaryosu dâhilinde patlama etkisinin hesaplanması mümkündür. Bunlar; gaz sızıntısı senaryosu, sıvı sızıntısı senaryosu ve patlayıcı madde senaryosudur. Bu senaryolara ait geliştirilen algoritmalar EK-2’de verilmiştir.

PAREA bilgisayar programı çalıştırıldığında öncelikle Şekil 3.9.’da gösterilen bilgilendirme sayfası çıkmakta, kullanıcı bilgilendirme sayfasındaki şartları kabul ettiğinde programın ilgili menülerine ulaşabilmektedir. Aksi takdirde program kullanılamamaktadır.



Şekil 3.9. PAREA programı kullanım şartları bilgilendirme penceresi

Bilgilendirme penceresinde “Kabul Ediyorum” butonuna basıldığında Şekil 3.10.’da gösterilen kimyasal veya patlayıcı madde seçim penceresi açılmaktadır. Bu bölümde daha önceden kimyasal bilgi bankasında mevcut maddelerden biri seçebildiği gibi, “Ekle” butonuna basılarak açılan pencerede ilgili özelliklerin girilmesi suretiyle yeni bir kimyasal veya patlayıcı madde oluşturulması da mümkündür. Kimyasal madde ekleme ile patlayıcı madde ekleme pencereleri sırasıyla Şekil 3.11. ve Şekil 3.12.’de gösterilmiştir.



Şekil 3.10. Kimyasal madde veya patlayıcı madde seçimi penceresi

PAREA - Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi

KİMYASAL EKLE

Kimyasalın Adı:

Molekül Ağırlığı: g/mol

Kaynama Noktası: °C

Yanma Isısı: MJ/kg

Patlama Verimi:

Buharlaşma Isısı: J/kg

	A	B	C	D	E
İdeal Gaz Isı Kapasitesi:					
Sıvı Isı Kapasitesi:					
Buhar Basıncı:					
Sıvı Yoğunluğu:					

Şekil 3.11. Kimyasal madde ekleme penceresi

PAREA - Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi

PATLAYICI MADDE EKLE

Patlayıcı Maddenin Adı:

Patlayıcı Maddenin TNT Eşdeğeri:

Şekil 3.12. Patlayıcı madde ekleme penceresi

Kimyasal madde veya patlayıcı madde seçimi penceresinde ilgili madde seçildikten sonra “Seç” butonuna basıldığında Şekil 3.13.’de gösterilen senaryo seçimi penceresi açılmaktadır. Bu pencerede istenilen senaryo seçildiğinde, seçilen senaryoya bağlı olarak Şekil 3.14., Şekil 3.15. ve Şekil 3.16.’da gösterilen pencerelerden biri açılmaktadır.

PAREA - Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi

SENARYO SEÇİMİ

Gaz Sızıntı Senaryosu

Sıvı Sızıntı Senaryosu

Patlayıcı Madde Senaryosu

Önceki Menüye Dön

Şekil 3.13. Senaryo seçimi penceresi

PAREA - Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi

Gaz Sızıntısı Senaryosu

Tank Çapı: m

Tank Uzunluğu: m

Tank Sıcaklığı: °C

Tank Basıncı: bar

Sızıntıya Neden Olan Delğin Çapı: m

Boşalım Katsayısı:

Sızıntının Devam Ettiği Süre: sn

SONUÇLAR

İdeal Gaz Sabit Basınç Isı Kapasitesi(Cp): J/kg.K

Kritik Basınç(Pc): Pa

Spesifik Isı Kapasiteleri Oranı(γ):

Tanktaki Toplam Madde Miktarı: kg

Sızan Madde Miktarı: kg

Patlamanın TNT Eşdeğeri: kg

50 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesi:
(Geri döndürülebilir zarar, camların kırılması eşiği) m

140 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesi:
(İnsan hayatı için ciddi tehlikeye karşılık gelen ilk
ölümcül etkiler eşiği, binalarda ciddi yapısal hasar
meydana gelme eşiği) m

200 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesi:
(İnsan hayatı için çok ciddi tehlikeye karşılık gelen
önemli öldürücü etkiler eşiği, domino etkisinin
başlangıç sınırı) m

Şekil 3.14. Gaz sızıntısı senaryosu penceresi

PAREA - Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi

Sıvı Sızıntısı Senaryosu

Tank Tipini Seçiniz:



Çap
Uzunluk



Çap
Uzunluk

☐ Yatay Silindirik Tank
 ☐ Dikey Silindirik Tank

Tank Çapı: m
 Tank Uzunluğu: m
 Tankın Doluluk Oranı: %
 Tank Sıcaklığı: °C
 Sızıntıya Neden Olan Delğin Çapı: m
 Boşalım Katsayısı:
 Sızıntının Yeri: m
(Tankın dip noktasını 0m referans alarak belirleyiniz)
 Sızıntının Devam Ettiği Süre: sn
 Tank Etrafında Taşma Havuzu Var mı?: Hayır
 Tank Etrafındaki Taşma Havuzunun Alanı: m²
 Sızıntının Meydana Geldiği Yer: Kapalı Alan
 Rüzgar Hızı: m/sn

SONUÇLAR

Sıvının Buhar Basıncı(Pb): Pa	Patlamanın TNT Eşdeğeri: kg
Sıvının Yoğunluğu(p): kg/m ³	50 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesi: m
Sıvı Sabit Basınç Isı Kapasitesi: J/kg.K	(Geri döndürülebilir zarar, camların kırılması eşiği)
Tanktaki Toplam Madde Miktarı: kg	140 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesi: m
Sızan Madde Miktarı: kg	(İnsan hayatı için ciddi tehlikeye karşılık gelen ilk ölümcül etkiler eşiği, binalarda ciddi yapısal hasar meydana gelme eşiği)
Parlama Kesri(F):	200 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesi: m
Buharlaşan Madde Miktarı: kg	(İnsan hayatı için çok ciddi tehlikeye karşılık gelen önemli öldürücü etkiler eşiği, domino etkisinin başlangıç sınırı)

Şekil 3.15. Sıvı sızıntısı senaryosu penceresi

PAREA - Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi

Patlayıcı Madde Senaryosu

Patlayıcı Madde Miktarını Giriniz: kg

SONUÇLAR

Patlayıcı Maddenin TNT Eşdeğeri Kütlesi: kg
50 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesi (Camların Kırılması Eşiği): m
140 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesi (Hafif Yaralanmaların Görüleceği Eşik): m
200 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesi (%1 Olasılıkla Ölüm Eşiği): m

Şekil 3.16. Patlayıcı madde senaryosu penceresi

Kullanıcı senaryo seçim pencerelerinde ilgili senaryoya göre hazırlanmış bölümlere gerekli bilgileri girmek suretiyle kendi oluşturduğu parametrelere göre patlama riskine yönelik etki mesafelerini hesaplayabilmektedir.

Patlama riskine yönelik etki mesafelerinin hesaplanmasında ihtiyaç duyulan ve sıcaklığa bağlı değişen fiziksel ve termofiziksel özellikler Bölüm 2.6.4.'de verilen Yaws'a ait eşitlikler kullanılarak hesaplanmıştır. Patlama verimi değerinin belirlenmesi için Bölüm 2.6.3.'de açıklanan Factory Mutual Research tarafından ortaya konan verilerden yararlanılmıştır. Patlayıcı maddelerin TNT eşdeğerlerinin belirlenmesi için ise Çizelge 2.9.'dan yararlanılmıştır.

PAREA programı kullanılarak patlayıcı ortamdan kaynaklanan örnek bir patlama etki mesafesinin hesaplanması

Senaryoya ilişkin parametreler;

Seçilen kimyasal madde	:Etil asetat
Seçilen senaryo	:Sıvı sızıntısı senaryosu
Tank tipi	:Yatay tank
Tank çapı	:2 m
Tank uzunluğu	:5 m
Tankın doluluk oranı	:% 80
Tank sıcaklığı	:30 °C
Sızıntıya neden olan deliğin çapı	:0,05 m
Boşalım katsayısı	:1
Sızıntının yeri	:0 m
Sızıntının devam ettiği süre	:600 s
Tank etrafında taşma havuzu var mı?	:Evet
Taşma havuzunun alanı	:100 m ²
Sızıntının meydana geldiği yer	:Açık alan
Rüzgar hızı	:5 m/s

PAREA programına yukarıda belirtilen veriler girilerek “Hesapla” butonuna basıldığında Şekil 3.17.'de gösterilen sonuçlar hesaplanmıştır.

PAREA - Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi

Sıvı Sızıntısı Senaryosu

Tank Tipini Seçiniz:



Uzunluk



Çap

Uzunluk

☒ Yatay Silindirik Tank ☐ Dikey Silindirik Tank

Tank Çapı: 2 m

Tank Uzunluğu: 5 m

Tankın Doluluk Oranı: 80 %

Tank Sıcaklığı: 30 °C

Sızıntıya Neden Olan Deliğin Çapı: 0,05 m

Boşalım Katsayısı: 1

Sızıntının Yeri: 0 m
(Tankın dip noktasını 0m referans olarak belirleyiniz)

Sızıntının Devam Ettiği Süre: 600 sn

Tank Etrafında Taşma Havuzu Var mı?: Evet

Tank Etrafındaki Taşma Havuzunun Alanı: 100 m²

Sızıntının Meydana Geldiği Yer: Açık Alan

Rüzgar Hızı: 5 m/sn

SONUÇLAR

Sıvının Buhar Basıncı(Pb):	16335,1 Pa	Patlamanın TNT Eşdeğeri:	118,7719 kg
Sıvının Yoğunluğu(p):	887,8127 kg/m³	50 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesi:	108,1419 m
Sıvı Sabit Basınç Isı Kapasitesi:	1952,99 J/kg.K	(Geri döndürülebilir zarar, camların kırılması eşiği)	
Tanktaki Toplam Madde Miktarı:	9568,126 kg	140 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesi:	49,1554 m
Sızan Madde Miktarı:	8632,653 kg	(İnsan hayatı için ciddi tehlikeye karşılık gelen ilk ölümcül etkiler eşiği, binalarda ciddi yapısal hasar meydana gelme eşiği)	
Parlama Kesri(F):	0,2149661	200 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesi:	37,3581 m
Buharlaştıran Madde Miktarı:	483,1595 kg	(İnsan hayatı için çok ciddi tehlikeye karşılık gelen önemli öldürücü etkiler eşiği, domino etkisinin başlangıç sınırı)	

Şekil 3.17. Sıvı sızıntısı senaryosuna ilişkin sonuç penceresi

PAREA programı kullanılarak patlayıcı maddelerden kaynaklanan örnek bir patlama etki mesafesinin hesaplanması

Senaryoya ilişkin parametreler;

Seçilen patlayıcı madde :Dumansız barut

Seçilen senaryo :Patlayıcı madde senaryosu

Patlayıcı madde miktarı :20000 kg

PAREA programına yukarıda belirtilen veriler girilerek “Hesapla” butonuna basıldığında Şekil 3.18.’de gösterilen sonuçlar hesaplanmıştır.

PAREA - Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi

Patlayıcı Madde Senaryosu

Patlayıcı Madde Miktarını Giriniz: kg

SONUÇLAR

Patlayıcı Maddenin TNT Eşdeğeri Kütlesi:	14000 kg
50 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesi: (Geri döndürülebilir zarar, camların kırılması eşiği)	530,2313 m
140 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesi: (İnsan hayatı için ciddi tehlikeye karşılık gelen ilk ölümcül etkiler eşiği, binalarda ciddi yapısal hasar meydana gelme eşiği)	241,0142 m
200 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesi: (İnsan hayatı için çok ciddi tehlikeye karşılık gelen önemli öldürücü etkiler eşiği, domino etkisinin başlangıç sınırı)	183,1708 m

Şekil 3.18. Patlayıcı madde senaryosuna ilişkin sonuç penceresi

4. BULGULAR VE YORUM

4.1. HTEA Metodu İle Tespit Edilen Risk Faktörlerinin ve Risk Öncelik Sayılarının Değerlendirilmesi

4.1.1. Nitroselüloz atölyesi

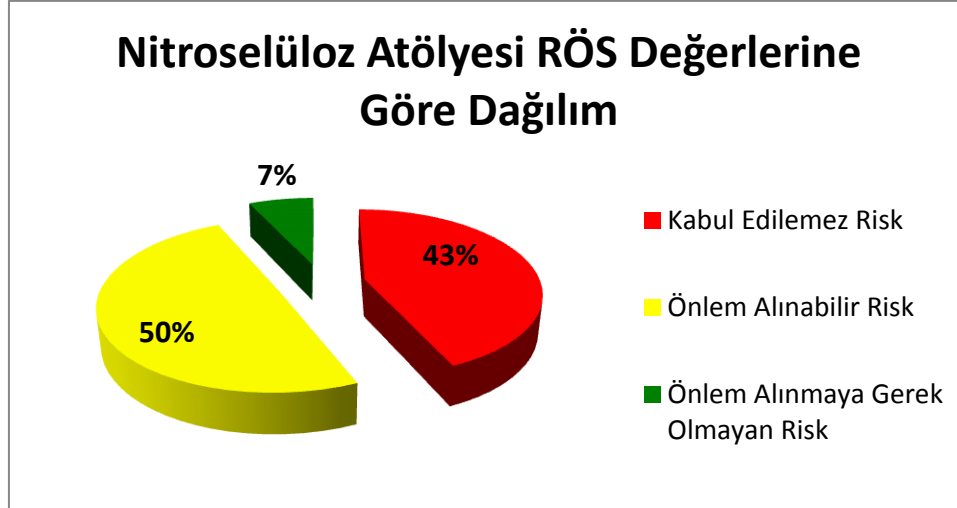
HTEA metodu kullanılarak uygulama yapılan patlayıcı madde üretim tesisindeki Nitroselüloz üretim atölyesinde tespit edilen risklerin kabul edilebilirlik kriterine göre sınıflandırılması Çizelge 4.1.'de verilmiştir.

Çizelge 4.1. Nitroselüloz atölyesinde tespit edilen risklerin bölümlere ve kabul edilebilirlik kriterine göre sınıflandırılması

Bölüm		Kabul Edilemez Risk	Önlem Alınabilir Risk	Önlem Alınmaya Gerek Olmayan Risk	Toplam
Nitroselüloz Atölyesi	Asit Hazırlama	1	7	1	9
	Hallaç	3	8	1	12
	Nitrasyon	19	16	1	36
	Otoklav ve Kıyma	9	11	1	21
	Sodali Kaynama ve Süzme	11	9	3	23
	Nitroselüloz Deposu	7	6	1	14
	Atölye Toplam	50	57	8	115

Çizelge 4.1. incelendiğinde küresel barut atölyesinde; 50'si kabul edilemez, 57'si önlem alınabilir ve 8'i önlem almaya gerek olmayan olmak üzere toplam 115 adet risk tespit edilmiştir. En çok risk nitrasyon bölümünde, en az risk ise asit hazırlama bölümünde tespit edilmiştir. Kabul edilemez riskin en çok olduğu bölüm nitrasyon bölümü iken, en az kabul edilemez riskin tespit edildiği bölüm ise asit hazırlama bölümüdür.

Nitroselüloz atölyesinde risklerin RÖS değerlerine göre dağılımı Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Nitroselüloz atölyesinde tespit edilen risklerin dağılımı

Şekil 4.1. incelendiğinde nitroselüloz üretim atölyesinde tespit edilen risklerin %43'ünün kabul edilemez risk olduğu, %50'sinin ise önlem alınabilir risk olduğu anlaşılmaktadır. Tespit edilen risklerin %7'si ise önlem almaya gerek olmayan risklerdir. Bu durum nitroselüloz atölyesinde RÖS değerlerinin, önlem almaya gerek olmayan risk seviyesine kadar düşürmek için ilave kontrol tedbirleri kararlaştırılmasını ve uygulanmasını zorunlu kılmaktadır.

Nitroselüloz üretim atölyesinin her bir bölümünde en yüksek RÖS büyüklüğüne sahip risk ile bu riske ait RÖS değerinin küçültülmesi için alınması gereken önlemleri gösteren tablo Çizelge 4.2.'de verilmiştir.

Çizelge 4.2. Nitroselüloz atölyesindeki her bir bölüm için tespit edilen en yüksek RÖS değerleri ve alınması gereken tedbirler

Bölüm	RÖS	Potansiyel Hata Türü	Alınması Gereken Tedbirler
Asit Hazırlama	180	Tam yüz maskesi, asite dayanıklı önlük ve eldiven kullanılmaması	Artık asit ve su drenaj kanalları güvenli bir şekilde çalışır hale getirilmelidir.
Hallaç	192	Toz depolama alanının kısa aralıklarla boşaltılmaması	Depolama alanında 1 haftadan uzun süreli depolamanın önlenmesi için organizasyonel düzenleme yapılmalıdır. Depo yakınında KKT bulundurulmalıdır.

Çizelge 4.2. (devam) Nitroselüloz atölyesindeki her bir bölüm için tespit edilen en yüksek RÖS değerleri ve alınması gereken tedbirler

Nitrasyon	192	Santrifüj sürüklenme suyu beslemesi flowmetresinin hatalı değer üretmesi	Mevcut flowmetrenin periyodik bakımı, kontrolü ve kalibrasyonu yapılmalıdır. İkinci bir flowmetre ilave edilmelidir.
Otoklav ve Kıyma	160	Mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, elektrik motorları v.b gibi sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde nitroselüloz atıklarının bulunması	Özellikle elektrikli ekipmanlar olmak üzere tüm sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde oluşan nitroselülozlar düzenli aralıklarla temizlenmeli ve her iş başlangıcında kontrol edilmelidir.
Sodali Kaynama	160	Mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, elektrik motorları v.b gibi sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde nitroselüloz atıklarının bulunması	Özellikle elektrikli ekipmanlar olmak üzere tüm sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde oluşan nitroselülozlar düzenli aralıklarla temizlenmeli ve her iş başlangıcında kontrol edilmelidir.
Nitroselüloz Deposu	200	Nitroselüloz atıklarının temizlenmemesi	Transpalet, forklift, zemindeki çatlaklar, kapı pervazları v.b gibi sürtünme ve çarpmaya maruz kalabilecek yerlerde nitroselüloz birikmesine müsaade edilmemelidir. Zemin sürekli temiz bulundurulmalıdır. Etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
Nitrasyon	192	Santrifüj sürüklenme suyu beslemesi flowmetresinin hatalı değer üretmesi	Mevcut flowmetrenin periyodik bakımı, kontrolü ve kalibrasyonu yapılmalıdır. İkinci bir flowmetre ilave edilmelidir.
Otoklav ve Kıyma	160	Mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, elektrik motorları v.b gibi sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde nitroselüloz atıklarının bulunması	Özellikle elektrikli ekipmanlar olmak üzere tüm sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde oluşan nitroselülozlar düzenli aralıklarla temizlenmeli ve her iş başlangıcında kontrol edilmelidir.

Çizelge 4.2. incelendiğinde nitroselüloz üretim atölyesinde 200 puanlık RÖS değeriyle nitroselüloz deposunda nitroselüloz atıklarının temizlenmemesi riski en yüksek risk olarak tespit edilmiştir. Bu riskin ardından nitrasyon bölümünde santrifüj sürüklenme suyu beslemesi flowmetresinin hatalı değer üretmesi ve hallaç bölümündeki toz depolama alanının kısa aralıklarla boşaltılmaması riskleri gelmektedir.

4.1.2. Küresel barut atölyesi

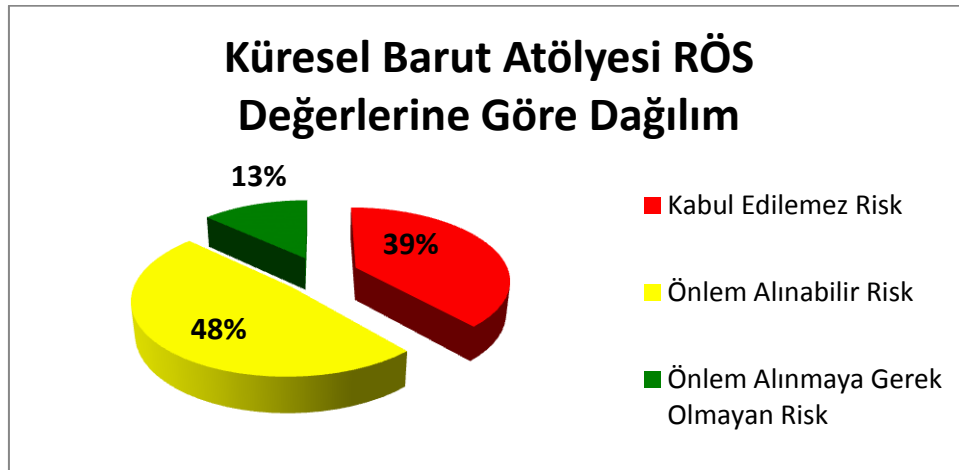
HTEA metodu kullanılarak uygulama yapılan patlayıcı madde üretim tesisindeki küresel barut üretim atölyesinde tespit edilen risklerin kabul edilebilirlik kriterine göre sınıflandırılması Çizelge 4.3.'de verilmiştir.

Çizelge 4.3. Küresel barut atölyesinde tespit edilen risklerin bölümlere ve kabul edilebilirlik kriterine göre sınıflandırılması

Bölüm		Kabul Edilemez risk	Önlem Alınabilir Risk	Önlem Alınmaya Gerek Olmayan Risk	Toplam
Küresel Barut Atölyesi	Ana Bina	10	19	8	37
	Etil Asetat Parkı	4	7	1	12
	Kuru Kaplama	8	9	1	18
	Eleme	5	3	1	9
	Barut Deposu	8	6	1	15
	Atölye Toplam	35	44	12	91

Çizelge 4.3. incelendiğinde küresel barut atölyesinde; 35'i kabul edilemez, 49'u önlem alınabilir ve 17'si önlem almaya gerek olmayan olmak üzere toplam 91 adet risk tespit edilmiştir. En çok risk ana bina bölümünde, en az risk ise eleme bölümünde tespit edilmiştir. Kabul edilemez riskin en çok olduğu bölüm ana bina bölümü iken, en az kabul edilemez riskin tespit edildiği bölüm ise etil asetat bölümüdür.

Küresel barut atölyesinde risklerin RÖS değerlerine dağılımı ise Şekil 4.2.'de verilmiştir.



Şekil 4.2. Küresel barut atölyesinde tespit edilen risklerin dağılımı

Şekil 4.2. incelendiğinde küresel barut üretim atölyesinde tespit edilen risklerin %39'unun kabul edilemez risk olduğu, %48'inin ise önleme alınabilir risk olduğu anlaşılmaktadır. Tespit edilen risklerin %13'ü ise önlem almaya gerek olmayan risklerdir. Bu durum küresel barut atölyesinde RÖS değerlerinin, önlem almaya gerek olmayan risk seviyesine kadar düşürmek için ilave kontrol tedbirleri kararlaştırılmasını ve uygulanmasını zorunlu kılmaktadır.

Küresel barut üretim atölyesinin her bir bölümünde en yüksek RÖS büyüklüğüne sahip risk ile bu riske ait RÖS değerinin küçültülmesi için alınması gereken önlemleri gösteren tablo Çizelge 4.4.'da verilmiştir.

Çizelge 4.4. Küresel barut atölyesindeki her bir bölüm için tespit edilen en yüksek RÖS değerleri ve alınması gereken tedbirler

Bölüm	RÖS	Potansiyel Hata Türü	Alınması gerekli tedbirler
Ana Bina	240	Mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, v.b gibi sürtünmeye maruz yerler ile elektrik motorları üzerlerinde tehlikeli miktarlarda ham kitle ve nitroselüloz birikmesi	Mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, transpalet gibi sürtünmeye maruz yerler ile elektrik motorları üzerlerinde hamkitle ve nitroselülozun birikerek kurummasına müsaade edilmemelidir. Zemin, elektrik motorları ve sıcak yüzeyler düzenli aralıklarla temizlenmeli ve her iş başlangıcında kontrol edilmelidir.
Etil Asetat Parkı	225	Tanklara dolum sırasında statik elektirik yükü birikmesi	Fabrikaya giriş yapan tanker doluma başlamadan önce yeterince dinlendirilmelidir. Tanker eş potansiyel baraya bağlanmalıdır ve akış hızı 7 m/s altında tutulmalıdır.
Kuru Kaplama	252	Havalandırmanın yetersizliği	Cebri havalandırma sistemi kurulmalıdır.
Eleme	240	Sürtünmeye ve ısınmaya maruz yerlerde bulunan barutun temizlenmemesi	Özellikle elektrikli ekipmanlar olmak üzere tüm sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde oluşan barutlar düzenli aralıklarla temizlenmeli ve her iş başlangıcında kontrol edilmelidir.
Barut Deposu	270	Uzun süre depolanacak barutlarda stabilite testlerinin yapılmaması	Stabilite testlerinin yapılması konusunda Üretim, Kalite Güvence ve Teknik emniyet birimlerince ortaklaşa çalışma yapılarak etkin bir sistem kurulmalıdır.

Çizelge 4.4. incelendiğinde küresel barut üretim atölyesinde 270 puanlık RÖS değeriyle barut deposunda uzun süre depolanacak barutlarda stabilite testlerinin yapılmaması riski en yüksek risk olarak tespit edilmiştir. Bu riskin ardından kuru kaplama bölümünde havalandırmanın yetersizliği ve ana binada mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, v.b gibi sürtünmeye maruz yerler ile elektrik motorları üzerlerinde tehlikeli miktarlarda ham kitle ve nitroselüloz birikmesi riskleri gelmektedir.

4.1.3. Nitroselüloz atölyesi ile küresel barut atölyesinin birlikte değerlendirilmesi

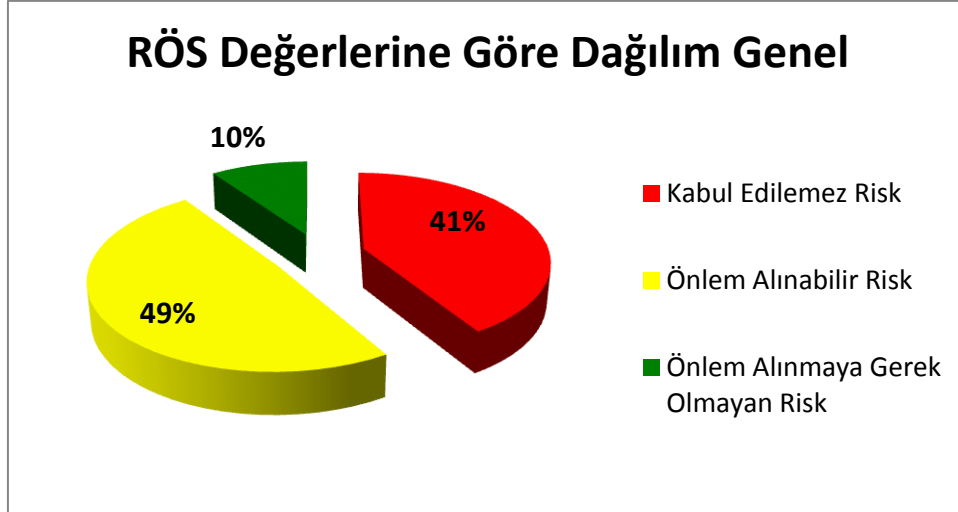
HTEA metodu kullanılarak uygulama yapılan patlayıcı madde üretim tesisi genelinde tespit edilen risklerin kabul edilebilirlik kriterine göre sınıflandırılması Çizelge 4.5.'de verilmiştir.

Çizelge 4.5. Tesis genelinde tespit edilen risklerin kabul edilebilirlik kriterine göre sınıflandırılması

Bölüm		Kabul Edilemez Risk	Önlem Alınabilir Risk	Önlem Alınmaya Gerek Olmayan Risk	Toplam
Nitroselüloz Atölyesi	Asit Hazırlama	1	7	1	9
	Hallaç	3	8	1	12
	Nitrasyon	19	16	1	36
	Otoklav ve Kıyma	9	11	1	21
	Sodali Kaynama ve Süzme	11	9	3	23
	Nitroselüloz Deposu	7	6	1	14
	Atölye Toplam	50	57	8	115
Küresel Barut Atölyesi	Ana Bina	10	19	8	37
	Etil Asetat Parkı	4	7	1	12
	Kuru Kaplama	8	9	1	18
	Eleme	5	3	1	9
	Barut Deposu	8	6	1	15
	Atölye Toplam	35	44	12	91
Tesis Geneli		85	101	20	206

Çizelge 4.5. incelendiğinde tesis genelinde; 85'i kabul edilemez, 101'i önlem alınabilir ve 20'si önlem almaya gerek olmayan olmak üzere toplam 206 adet risk tespit edilmiştir.

Tesis genelindeki risklerin RÖS değerlerine göre dağılımı Şekil 4.3.'de verilmiştir.



Şekil 4.3. Tesis genelinde tespit edilen risklerin dağılımı

Şekil 4.3. incelendiğinde tesis genelinde tespit edilen risklerin %41'inin kabul edilemez risk olduğu, %49'unun ise önleme alınabilir risk olduğu anlaşılmaktadır. Tespit edilen risklerin %10'u ise önlem almaya gerek olmayan risklerdir. Bu durum tesis genelinde RÖS değerlerinin, önlem almaya gerek olmayan risk seviyesine kadar düşürmek için ilave kontrol tedbirleri kararlaştırılmasını ve uygulanmasını zorunlu kılmaktadır.

Tesis genelinde en yüksek RÖS büyüklüğüne sahip 10 risk ile bu risklere ait RÖS değerinin küçültülmesi için alınması gereken önlemleri gösteren tablo Çizelge 4.6.'da verilmiştir.

Çizelge 4.6. Tesis genelinde tespit edilen en yüksek RÖS değerli riskler ve alınması gerekli tedbirler

Bölüm	RÖS	Potansiyel Hata Türü	Alınması gerekli tedbirler
Küresel Barut-Barut Deposu	270	Uzun süre depolanacak barutlarda stabilite testlerinin yapılmaması	Stabilite testlerinin yapılması konusunda Üretim, Kalite Güvence ve Teknik emniyet birimlerince ortaklaşa çalışma yapılarak etkin bir sistem kurulmalıdır. Depolama sıcaklığı kontrol altına alınmalıdır.
Küresel Barut- Kuru Kaplama	252	Havalandırmanın yetersizliği	Cebri havalandırma sistemi kurulmalıdır.

Çizelge 4.6. (devam) Tesis genelinde tespit edilen en yüksek RÖS değerli riskler ve alınması gerekli tedbirler

Küresel Barut- Ana Bina	240	Mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, v.b gibi sürtünmeye maruz yerler ile elektrik motorları üzerlerinde tehlikeli miktarlarda ham kitle ve nitroselüloz birikmesi	Mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, transpalet gibi sürtünmeye maruz yerler ile elektrik motorları üzerlerinde hamkitle ve nitroselülozun birikerek kurumasına müsaade edilmemelidir. Zemin, elektrik motorları ve sıcak yüzeyler düzenli aralıklarla temizlenmeli ve her iş başlangıcında kontrol edilmelidir.
Eleme	240	Sürtünmeye ve ısınmaya maruz yerlerde bulunan barutun temizlenmemesi	Özellikle elektrikli ekipmanlar olmak üzere tüm sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde oluşan barutlar düzenli aralıklarla temizlenmeli ve her iş başlangıcında kontrol edilmelidir.
Etil Asetat Parkı	225	Tanklara dolum sırasında statik elektrik yükü birikmesi	Fabrikaya giriş yapan tanker doluma başlamadan önce yeterince dinlendirilmelidir. Tanker eş potansiyel baraya bağlanmalıdır ve akış hızı 7 m/s altında tutulmalıdır.
Nitroselüloz Atölyesi- Nitroselüloz Deposu	200	Nitroselüloz atıklarının temizlenmemesi	Transpalet, forklift, zemindeki çatlaklar, kapı pervazları v.b gibi sürtünme ve çarpmaya maruz kalabilecek yerlerde nitroselüloz birikmesine müsaade edilmemelidir. Zemin sürekli temiz bulundurulmalıdır. Etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
Nitroselüloz Atölyesi- Nitrasyon	192	Santrifüj sürüklenme suyu beslemesi flowmetresinin hatalı değer üretmesi	Mevcut flowmetrenin periyodik bakımı, kontrolü ve kalibrasyonu yapılmalıdır. İkinci bir flowmetre ilave edilmelidir.
Nitroselüloz Atölyesi- Hallaç	192	Toz depolama alanının kısa aralıklarla boşaltılmaması	Depolama alanında 1 haftadan uzun süreli depolamanın önlenmesi için organizasyonel düzenleme yapılmalıdır. Depo yakınında KKT bulundurulmalıdır.
Nitroselüloz Atölyesi-Asit Hazırlama	180	Tam yüz maskesi, asite dayanıklı önlük ve eldiven kullanılmaması	Artık asit ve su drenaj kanalları güvenli bir şekilde çalışır hale getirilmelidir.
Nitroselüloz Atölyesi- Otoklav ve Kıyma	160	Mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, elektrik motorları v.b gibi sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde nitroselüloz atıklarının bulunması	Özellikle elektrikli ekipmanlar olmak üzere tüm sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde oluşan nitroselülozlar düzenli aralıklarla temizlenmeli ve her iş başlangıcında kontrol edilmelidir.

Çizelge 4.6. incelendiğinde tesis genelinde, küresel barut üretim atölyesinde tespit edilen risklere ait RÖS değerlerinin, nitroselüloz atölyesinde tespit edilen RÖS değerlerinden daha büyük olduğu görülecektir. Bu noktadan hareketle küresel barut atölyesinin, nitroselüloz atölyesine göre daha riskli olduğu söylenebilir. Gerçektende küresel barut atölyesinde hammadde olarak hem nitroselüloz, nitrogliserin gibi patlayıcı madde, $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ parlama noktasına sahip, çok kolay alevlenebilir bir sıvı olan etil asetat birlikte kullanılmaktadır. Öte yandan küresel barut üretim tesisindeki ana bina bölümünde her ne kadar barutların transferi, yıkama, eleme ve laminasyon gibi bazı operasyonları su altında yapılıyor olsa da proses atık ve artıkları kuruyarak tehlikeli durumlara sebebiyet verebilmektedir. Bununla birlikte etil asetatın hammadde olarak kullanılıyor olması da her zaman bir patlayıcı ortam oluşturma riskini de beraberinde getirmektedir.

Tesis genelinde tespit edilen ve en yüksek RÖS değerinde olan “uzun süre depolanacak barutlarda stabilite testlerinin yapılmaması” riski özellikle üzerinde durulması gereken bir durumdur. Zira bu risk patlayıcı maddenin doğasından kaynaklanmaktadır.

Nitroselüloz gibi nitrat esterlerin bozunması birçok bozunma reaksiyonu (nitroselüloz, stabilizan madde, NO_x ile bunların kendi aralarındaki reaksiyonlar) ve bunların birbiri ile etkileşimini içeren oldukça karmaşık bir süreçtir. Azot oksitler özellikle NO_2 çok reaktif bir madde olup, nitroselülozun kendi kendine tutuşmasından sorumlu olan bir dizi ekzotermik reaksiyonun oluşmasını kolaylaştıran bir etkiye sahiptir. Depolanma sırasında kendi kendine tutuşma katastrofik kazalara neden olabilir. Bu nedenle bu tür otokatalitik reaksiyonların önlenmesi önem arz etmektedir. Tesiste üretilen sevk barutları tek bazlı (sadece nitroselüloz içeren) veya çift bazlı (nitroselüloz ve nitrogliserin içeren) şeklinde üretilmektedir. Sevk barutları ideal depolama koşullarında bile muhafaza edilse içerdikleri bu bileşenler, azot oksitler (NO_x) ve temelde diazottetraoksit (N_2O_4) oluşumu ile bozunmaya başlar. Bu azot oksitler sevk barutundan uzaklaştırılmaz ise bozunmayı daha da hızlandıracaklardır.

Bozunma reaksiyonun hızını artıran önemli faktörlerden biri sıcaklıktır. $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ üzerindeki herhangi bir artış barutun depolama ömrü üzerinde yan etkiye neden olacaktır. Otokatalitik bozunma ciddi bir risk oluşturduğundan bunu önlemek için stabilizan madde olarak bilinen difenil amin ve etilsantralit gibi bazı kimsayallar sevk barutu üretilirken eklenir. Bu stabilizan maddeler nitroselüloz ve nitrogliserinin yavaş bozunmasını durdurmaz ancak

azot oksitleri uzaklaştırarak kimyasal bozunmanın hızlanmasını önler. Stabilizan maddeler azot oksitlerle kimyasal olarak reaksiyona girerek bunu sağlarlar. Dolayısıyla stabilizan maddeler zamanla yavaş bir şekilde azalmaktadır.

Kararlılığın, kimyasal olarak bozulmasının en belirgin sonucu, nitrat ester bazlı patlayıcıların güvenli kullanım ömürlerinin sonunda kendiliğinden tutuşması ve bu nedenle barut deposunda meydana gelebilecek patlama şeklinde bir kazadır. Tesiste üretilen birçok silah ve roket sevk barutu nitroselüloz ve nitrogliserin gibi nitrat esterleri içermektedir. Sevk barutlarının kimyasal kararlılıkları içerdikleri en az kararlı maddeye ve depolanma koşullarına bağlıdır. Bu amaçla kimyasal kararlılık testleri üretilen her bir kafiye veya şarj için ilk balistik test zamanına gelindiğinde mutlaka yapılmalıdır. Bunun haricinde kimyasal kararlılığın kontrollü bir şekilde takip edilmesi hayati önem taşımaktadır. Bu amaçla özellikle uzun süreli depolanması yapılan barut şarjlarının veya kafiyelerinin belirlenecek düzenli aralıklara stabilite testlerinin yapılmasının sağlanmasına yönelik etkin bir sistem kurulmalıdır. Her bir kafiye ve ürün grubu için raf ömrü belirlenmelidir. Stabilite testinden geçemeyen ve raf ömrü dolan barutlar derhal imha edilmelidir.

Küresel barut atölyesinde tespit edilen ve yüksek RÖS değerine sahip bir diğer risk “mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, v.b gibi sürtünmeye maruz yerler ile elektrik motorları üzerlerinde tehlikeli miktarlarda ham kitle ve nitroselüloz birikmesi” riskidir. Bilindiği üzere küresel barutta dahil olmak üzere patlayıcı maddeler çarpma, sürtünme gibi fiziksel etkiler veya sıcaklık artışı dolayısıyla yanar veya bazı koşulların oluşmasıyla patlar. Tesislerde bu tür fiziksel etkiler her zaman mevcut olabilir. Bu riskin ortadan kaldırılması için mücadele edilmesi gereken konu tesiste atık ve artıkların yönetiminin etkin bir şekilde yapılmasıdır. Bu amaçla patlayıcı madde elleçlemesinin yapıldığı tüm bölümlerde dökülen, saçılan maddeler derhal temizlenmeli, işe başlamadan önce ekipmanların ve zeminin patlayıcı maddeler ile kirletilmemiş olduğundan emin olunmalıdır. Bu konuda yapılan iş ve işlemler kayıt altına alınmalıdır.

Çizelge 4.6. incelendiğinde küresel barut atölyesinde patlayıcı ortam nedeniyle iki farklı bölümde, yüksek RÖS değerine sahip riskler tespit edilmiştir. Bunlar; etil asetat parkında etil asetat ve kuru kaplama bölümünde izopropil alkol kullanımından kaynaklanan ve patlamayla sonuçlanabilecek risklerdir. Etil asetat ve izopropil alkol küresel barut üretiminde kullanılan iki önemli hammadde olup her iki madde de çok kolay alevlenebilir

madde kategorisindedir. Her iki madde de normal çalışma sıcaklıklarında kolaylıkla patlayıcı ortam oluşturabilmektedir. Bu maddelerin atmosferik hava ile karışarak alt ve üst patlama limitleri arasında bir konsantrasyona ulaşması ve bir tutuşturucu kaynakla(ısınmış yüzeyler, statik elektrik, kıvılcım v.b) teması halinde buhar bulutu patlaması meydana gelebilir. Bu amaçla öncelikli yapılması gereken, patlayıcı ortam oluşmasını önlemeye yönelik olmalıdır. Kuru kaplama bölümünde izopropil alkol buharlarının oluşturduğu patlayıcı ortamın güvenli bir yere uygun şekilde yönlendirilmesi veya uzaklaştırılması sağlanmalıdır. Başka bir ifadeyle bu bölümde özellikle lokal havalandırma yoluyla patlayıcı ortam oluşmasının önüne geçilmelidir. Yapılan işlemlerin doğası gereği patlayıcı ortam oluşmasının önlenmesi mümkün değilse bu durumda patlayıcı ortamın tutuşmasını önlemek üzere, etil asetat gibi alevlenir sıvıların transfer hızlarının sınırlandırılması veya transfer öncesi tankerlerin dinlendirilmesi ve topraklanması gibi başta statik elektrik olmak üzere tüm tutuşma kaynaklarıyla etkin mücadele edilmelidir. Ancak, unutulmamalıdır ki tutuşma kaynaklarını kontrol altında tutmak her zaman ve kolaylıkla mümkün olmayabilir. Tutuşma kaynaklarıyla etkili mücadele elbette gereklidir. Ancak yukarıda da ifade edildiği üzere asıl gayret patlayıcı ortamın oluşumunun engellenmesine sarf edilmelidir.

Çizelge 4.6. incelendiğinde tesis genelinde, nitroselüloz üretim atölyesinde tespit edilen risklere ait RÖS değerlerinin, küresel barut atölyesinde tespit edilen RÖS değerlerinden daha küçük olduğu görülecektir. Bu noktadan hareketle küresel barut atölyesinin, nitroselüloz atölyesine göre daha riskli olduğu söylenebilir. Gerçektende, nitroselüloz atölyesinde, prosesin büyük kısmı sürekli karıştırılmalı tank reaktörü ile otoklavlarda ve kapalı bir şekilde üretilmektedir. Bu proseste asit ve nitroselüloz olmaz üzere iki büyük tehlike kaynağı mevcuttur. Bu iki tehlikenin birlikte mevcut olduğu bölüm ise nitrasyon bölümüdür. Nitroselüloz üretim atölyesi içerisinde yer alan nitrasyon bölümü özellikle de santrifüj ile yapılan çalışmalar, yapılan risk analizinde en yüksek RÖS değerine ulaşmıştır. Zira santrifüj, nitroselüloz üretiminin en kararsız olduğu bölüm olup, nitroselülozdan tam olarak ayıramayan asit, nitroselülozun dekompozisyonuna neden olarak, bir patlamayla sonuçlanabilmektedir. Bu amaçla bünyesinde hala asit olan nitroselülozun vakit kaybetmeden su dolu tanka alınmalıdır. Sürüklemeye suyunun kesilmesi ya da azalması, santrifüjün nitroselüloz beslememesinin devam etmesine rağmen durması gibi bu operasyonu yavaşlatan ya da engelleyen her durum ciddi sonuçlara neden olabilmektedir. Bununla birlikte küresel barut atölyesinde tespit edilen atık ve artıkların kötü yönetilmesi

riski ve bu riskin ortadan kaldırılması veya azaltılması amacıyla alınması gereken tedbir nitroselüloz atölyesi içinde geçerlidir.

4.2. HTEA Metodu ve Bulanık Mantıkla Hesaplanan RÖS Değerlerinin Karşılaştırılması

Uygulama amaçlı seçilen patlayıcı madde üretim tesisinde, bulanık mantık yaklaşımıyla bulanık risk öncelik sayılarının (B RÖS) tespit edilmesiyle oluşturulan çizelge EK-1’de verilmiştir.

EK-1’de HTEA metodu kullanılarak hesaplanan RÖS değerleri ile bulanık mantık yaklaşımı ile hesaplanan B RÖS değerleri görülmektedir. EK-1 de her bir bölüm için tespit edilen riskler, RÖS değerlerinin büyüklüğüne göre sıralanmıştır. RÖS değerlerinin sıralandığı sütunun yanında ise B RÖS değerleri yer almaktadır. RÖS sütunundaki değerler kabul edilemez risk ise kırmızı, önlem alınabilir risk ise sarı ve önlem almaya gerek olmayan risk ise yeşil dolgu rengindedir. B RÖS sütunundaki değerler ise yine kendi arasındaki büyüklüğe göre sıralanmış ancak risk büyüklüğüne göre bir sınıflandırmaya gidilmemiş dolayısıyla dolgu rengi kullanılmamıştır. Bununla birlikte B RÖS sütununda yer alan risk büyüklükleri RÖS değerinin azalan değerleriyle azalmıyorsa o halde bu değer kırmızı olarak gösterilmiştir. Başka bir ifadeyle RÖS değerleriyle paralel olarak azalan B RÖS değerleri siyah, bu azalmaya uymayan değerler ise kırmızı olarak gösterilmiştir. Örneğin; nitroselüloz atölyesi nitrasyon bölümünde 11 numarada tespit edilen “nitratörler ile platform arasındaki açıklığın tahta ile kapatılması” riskinin RÖS değeri 120, B RÖS değeri ise 4,44 olarak hesaplanmıştır. 12 numarada tespit edilen “bantlı terazinin pamuk debisini hatalı beslemesi” riskinin RÖS değeri 112, B RÖS değeri ise 4,82 olarak hesaplanmıştır. Görüldüğü gibi RÖS değeri azalıyor olmasına rağmen B RÖS değerinde bir artış olduğundan 12. sıradaki B RÖS değeri kırmızı ile gösterilmiştir. Bu sayede HTEA metodu bileşenleri kullanılarak klasik yolla hesaplanan RÖS değerleri ile bulanık mantık kullanılarak hesaplanan B RÖS değerleri karşılaştırılmıştır.

EK-1 dikkatlice incelendiğinde, klasik HTEA bilenleri kullanılarak hesaplanan RÖS değerleri ile bulanık mantık kullanılarak hesaplanan B RÖS değerleri arasında büyük ölçüde bir uyum olduğu görülecektir. Tesis genelinde tespit edilen toplam 206 riskin yaklaşık %80’inde RÖS değeri ile B RÖS değeri arasında bir uyum söz konusudur.

Bununla birlikte tesis genelinde tespit edilen toplam 206 riskin 20'si küresel barut atölyesi, 20'si nitroselüloz atölyesi olmak üzere toplam 40 riskte, RÖS ile B RÖS arasında uyumsuzluk tespit edilmiştir.

İnsanlar, belirsizlik içeren şartlar altında karar verirken, kararlarında çoğunlukla yaklaşıklık söz konusudur. Bununla birlikte insanlar sözü edilen şartlarda verdiği kararları, sayısal ifade etmekten ziyade sözel ifade etme eğilimindedirler. Bu durum HTEA metodunun dezavantajlarından biridir. Zira HTEA metodunda, RÖS' ü hesaplamak için olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik değerleri kullanılmaktadır. Fakat bu değerler birçok durumda sayısal olarak elde edilemeyen dilsel değişkenler halindedir. Uygulama yapılan tesiste bu değişkenler, oluşturulan ekip tarafından beyin fırtınası yapılarak sayılaştırılmış olsa dahi yine de subjektiflik taşımaktadır. Zira risk algısı esasen subjektif bir kavramdır. Hal böyle olunca onlu skala kullanılarak yapılan puanlamada ekip üyelerinin konu ile ilgili bilgi seviyesi ve deneyimleri riske atfedilen sayısal değeri doğrudan etkilemektedir. Klasik HTEA metodunun diğer bir eksikliği de yöntemde risk faktörlerinin ağırlıklarının eşit kabul edilmesi ve önemlerinin farklı olabileceğinin ihmal edilmesidir.

İkinci bölümde de ele alındığı üzere risk olasılık ve şiddet ile birlikte karakterize edilen bir kavramdır. Temelde bu iki bileşenin risk üzerinde ağırlıkları eşit gibi görünse de insanlardaki risk algısı şiddet ağırlıklıdır. Örneğin olasılık=8, şiddet=2, tespit edilebilirlik=2 olarak karakterize edilen bir risk ile olasılık=2, şiddet=8, tespit edilebilirlik=2 olarak karakterize edilen bir risk eşit RÖS değerine sahip olsalar bile insanların çoğunluğu, şiddeti yüksek olan ilk riski daha yüksek risk olarak algılamaktadırlar. Bu durum HTEA metodunun dezavantajlarından bir başkasıdır. Benzer bir durum uygulama yapılan tesiste de gözlenmiştir. Örneğin nitroselüloz atölyesi nitrasyon bölümünde tespit edilen 11. ve 12. riskler neredeyse birbirlerine eşit RÖS değerine sahiptir. 11. risk olasılık=4, şiddet=5, tespit edilebilirlik=6 ile karakterize edilirken, 12. risk ise olasılık=4, şiddet=7, tespit edilebilirlik=6 ile karakterize edilmiştir. 11. riske ait B RÖS değeri 4,44 iken, 12. riske ait B RÖS ise 4,82 olarak hesaplanmıştır. HTEA bileşenleri kullanılarak hesaplanan RÖS sonucuna göre 11. risk daha öncelikli iken bulanık mantık kullanılarak hesaplanan B RÖS değerine göre 12. risk daha önceliklidir. Benzer bir durum diğer bölümlerdeki birçok risk içinde geçerlidir. Bu örnekten hareketle bulanık mantık kullanılarak geliştirilen modelde kural tabanının da etkisiyle şiddet ağırlıklı bir önceliklendirme söz konusu olabilmekte, dolayısıyla bulanık mantığın insan

düşüncesine daha uyumlu olduğu iddia edilebilir. Ancak unutulmamalıdır ki bu ağırlık bir yönüyle seçilen üyelik fonksiyonlarına ve oluşturulan kural tabanlarına bağlıdır.

4.3. Patlama Riskine Yönelik Etki Analizi (PAREA) Bilgisayar Programının Değerlendirilmesi

Kimyasal madde üretim tesislerinde bir bütünlük kaybı meydana geldiğinde bu durumun olası etkilerinin ortaya konması sonuç modellemesinin amacıdır. Sonuç modellenmesinde tehlikeli maddelerin neden olabileceği üç büyük etki üzerinde durulur. Bunlar yangın, toksik madde yayılımı ve patlamadır. PAREA bilgisayar programı da bir sonuç modelleme programı olup, sadece patlama riskine yönelik etkinin hesaplanması amacıyla geliştirilmiştir. Sonuç modelleme genellikle üretim kaybı, insanın ölümü ya da yaralanması, maddi hasar ve çevresel zarar gibi bazı kriterlerle nicelleştirilir. Bu nicelleştirme, bazı ampirik yaklaşımlar ve matematiksel formüller kullanmak suretiyle yapılır.

Patlama etkisinin hesaplanmasında tehlikeli maddelerin neden olacağı diğer etkilerin hesaplanmasında olduğu gibi, öncelikle tehlikeli maddenin boşalma hızının, parlama derecesinin, buharlaşma hızının belirlenmesi gibi bazı matematiksel kaynak modelleri kullanılır. Bu modeller patlamanın başlangıç boyutunu tahmin etmek içindir. Sonrasında ise patlamaların hangi şiddette ve ne kadar bir alanda etki meydana getireceğinin tahmin edilmesi için etki şiddeti modelleri kullanılır.

PAREA ile hem patlayıcı maddelerin hem de yanıcı/alevlenir maddelerin patlamasıyla ortaya çıkacak etkinin hesaplanması mümkündür. Patlayıcı madde üretim tesisinde hem patlayıcı madde hem de patlayıcı ortam mevcut olduğundan program, bunları kapsayacak şekilde geliştirilmiştir.

Programda 3 adet senaryo seçimi mevcuttur. Bunlar gaz sızıntısı senaryosu, sıvı sızıntısı senaryosu ve patlayıcı madde senaryosudur. Bu senaryo pencerelerini kullanmak suretiyle üç farklı seviyede etki mesafesi hesaplamak mümkündür. Bunlardan ilki, 50 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesidir. Bu mesafe içerisinde bulunan insanlarda meydana gelebilecek zararlar geri döndürülebilir zararlardır. Başka bir ifadeyle bu mesafe içerisinde bulunan insanlarda meydana gelebilecek zararlar geçicidir. Bu mesafe içerisinde bulunan

yapılarda ise camlar kırılabilir. İkincisi, 140 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesidir. Bu mesafe içerisinde insan hayatı için ciddi tehlikeler bulunmaktadır. Bu mesafe içerisinde bulunan yapılarda ise ciddi yapısal hasar meydana gelme ihtimali bulunmaktadır. Üçüncüsü ise, 200 mbar aşırı basınca karşılık gelen etki mesafesidir. Bu mesafe içerisinde insan hayatı için çok ciddi tehlikeler bulunmaktadır. Domino etkisinin başlangıcı ise bu mesafeyle birlikte görülmeye başlar. Patlama etkisinin değerlendirilmesinde dikkate alınan sınır değerler Çizelge 2.21’de verilen Fransa mevzuatına göre oluşturulmuştur.

Gaz sızıntısı senaryosunda kullanıcıdan tank çapı, tank uzunluğu, tank sıcaklığı, tank basıncı, sızıntıya neden olan deliğin çapı, boşalım katsayısı ve sızıntının devam ettiği süre olmak üzere toplam 7 bilgi girişi istenmektedir. Bunlardan tank çapı, tank çapı, tank uzunluğu, tank sıcaklığı ve tank basıncı prosese ait bilgiler olup proses işletim koşulları ne ise bu değerler girilmelidir. Sızıntıya neden olan deliğin çapını tahmin etmek kolay değildir. Bu çapın ne olacağına ilişkin bir kural da bulunmamaktadır. Bununla birlikte delik çapının 10 mm olarak ka Ancak unutulmamalıdır ki deliğin çapı arttıkça daha muhafazakar sonuçlar elde edilmektedir. Boşalım katsayısı değeri için Bölüm 2.7.’de açıklandığı şekilde bir tahmin yapmak gereklidir. Bu değerin 1 olarak seçilmesi benzer şekilde muhafazakar sonuç elde etmeye neden olmakta ve tavsiye edilmektedir. Sızıntı süresi için ise en fazla bir saat girilmesi tavsiye edilmektedir. Sızıntı süresinin 10 dakikadan kısa tutulması ise senaryonun gerçekleşme ihtimalini zayıflatan bir seçim olacaktır.

Sıvı sızıntısı senaryosunda kullanıcıdan tank tipi, tank çapı, tank uzunluğu, tank doluluk oranı, tank sıcaklığı, sızıntıya neden olan deliğin çapı, boşalım katsayısı, sızıntının yeri, sızıntının devam ettiği süre, tank etrafında taşma havuzu olup olmadığı varsa alanı, sızıntının meydana geldiği yer ve geçerli durumda rüzgar hızı olmak üzere toplam 11 bilgi girişi istenmektedir. Bunlardan tankın tipi(yatay, dikey), tank çapı, tank uzunluğu, tank sıcaklığı, gaz senaryosunda olduğu gibi prosese ait bilgiler olup proses işletim koşulları ne ise bu değerler girilmelidir. Sızıntıya neden olan deliğin çapı, boşalım katsayısı ve sızıntının devam ettiği sürenin sonuçlar üzerindeki etkisi gaz sızıntısı senaryosunda açıklanmıştır. Sızıntının yeri sıvı sadece sıvı sızıntısı senaryosunda olan bir parametre olup, birim zamanda boşan madde miktarını doğrudan etkilemektedir. Zira sızıntının üzerindeki sıvı sütununun yüksekliği arttıkça birim zamanda boşalan madde miktarı da

artmaktadır. Bu yüzden sızıntının yeri olarak tankın dip noktasının seçilmesi daha muhafazakâr sonuç alınmasını sağlamaktadır. Öte yandan tankta sıvı sızıntısı meydana gelmesi durumunda, sıvı sütununun zamanla azalacağı bir gerçektir. Bu durumda tanktan birim zamanda boşalan madde miktarında da bir azalma olması beklenmelidir. PAREA programında bu durum ihmal edilmiştir ki bu aynı zamanda muhafazakâr tarafta kalmayı da sağlamaktadır.

Bilindiği üzere, sıvı depolama tanklarının etrafında çoğu zaman bir taşma havuzu bulunmaktadır. Olası bir bütünlük kaybı durumunda taşma havuzu, tanktan boşalan sıvının yayılmasını önlemektedir. PAREA programında bu husus dikkate alınabilmektedir. PAREA programında buharlaşmanın yalnızca havuzda meydana geldiği kabul edilmektedir. Sızıntı sırasında buharlaşma olmadığı varsayılmaktadır. Sıvı sızıntısı senaryosunda, tankın etrafında bir taşma havuzu varsa, olası sızıntı bu taşma havuzunda birikecektir. Bu durum kaynama noktası ortam sıcaklığından büyük olan sıvılar için geçerlidir. Zira kaynama noktası ortam sıcaklığının altında olan sıvıların (büyük çoğunlukla basınç altında sıvılaştırılan gazlar) buharlaşma mekanizması Eş. 2.9'da görüleceği üzere sıvının kaynama noktası, sıcaklığı ve gizli buharlaşma entalpisi ile ifade edilmektedir. Hal böyle olunca, sıvının etrafında mevcut olan bir taşma havuzu, kaynama noktası ortam sıcaklığının altında olan sıvılar için geçerli olmayacaktır. Kaynama noktası ortam sıcaklığının altında olan üstünde olan sıvılarda ise taşan sıvı bu havuzda birikmektedir. Böyle bir senaryo oluşturulduğunda, buharlaşan madde miktarı PAREA programında Eş. 2.10'da gösterilen ifade ile hesaplanmaktadır. Bu eşitlikteki sıvının yüzey alanı parametresi ise taşma havuzunun alanı olarak dikkate alınmaktadır. Sıvı tankının etrafında bir taşma havuzu yok ise bu durumda sıvının 0,5-1 cm derinlik oluşturacak kadar yayılacağı kabul edilmektedir (Casal, 2008: 125-128; United States Environmental Protection Agency, 1999). Dolayısıyla böyle bir senaryo oluşturulduğunda, toplam sızan madde miktarının 0,1 cm derinlik oluşturduğu yüzey alanı hesaplanarak Eş. 2.10'da dikkate alınmaktadır. PAREA programında sızıntının meydana geldiği yer de dikkate alınabilmektedir. Sızıntı eğer açık ortamda meydana gelirse kullanıcıdan rüzgar hızı verisi istenmektedir. Sızıntının kapalı ortamda meydana gelmesi durumunda buharlaşma hızı, açık ortamdaki hıza göre oldukça düşük meydana gelmektedir. Kapalı ortamlarda rüzgâr hızının belirlenmesi; binanın boyutları ve mimarisi, havalandırmanın tipi(doğal, mekanik), havalandırmanın engellenmesi gibi birçok parametrenin etkisindedir. Kapalı ortamlarda çoğu zaman rüzgâr hızı 0,5 m/s den daha düşüktür (United States Environmental

Protection Agency, 1999). Ancak muhafazakar tarafta kalmak için PAREA programında kapalı ortamlarda rüzgar hızı 0,5 m/s olarak kabul edilmiştir.

Patlayıcı madde senaryosunda ise kullanıcıdan sadece patlayıcı maddenin miktarı istenmektedir. PAREA programında kullanıcıdan gelen bu veri, Çizelge 2.9.'da verilen patlayıcı maddelerin TNT eşdeğerlikleri tablosuna göre TNT eşdeğerine çevrilmekte ve patlama etki mesafeleri hesaplanmaktadır.

Patlama riskine yönelik etki analizinin yapılabilmesine olanak sağlayan ve bu tez kapsamında geliştirilen PAREA programın bazı artıları ve eksileri aşağıda belirtilmiştir.

PAREA programının artıları

- Kullanımı kolaydır. Kullanıcı dostu bir ara yüze sahiptir.
- Program menüsü Türkçedir. Kurulumu kolaydır..
- Uzman olmayan kişiler de programı rahatlıkla kullanabilir.
- Hem patlayıcı maddeler hem de patlayıcı ortama ilişkin hesaplama yapılabilir.
- Kimyasal madde ve patlayıcı madde kütüphanesinde endüstride sıklıkla kullanılan kimyasallar mevcuttur. İstenildiğinde kütüphaneye kimyasal ve patlayıcı madde eklenmesi mümkündür ve bu işlem oldukça kolaydır.
- Hızlı bir şekilde modelleme yapılabilir.
- Hesaplama için ihtiyaç duyulan ve sıcaklığa bağlı olarak değişen parametreler program dâhilinde hesaplanabilmektedir.
- Sıvı sızıntısı senaryosunda farklı geometride tanklar için hesaplama yapılabilir.
- Sıvı sızıntısı senaryosunda taşma havuzunun varlığı ve sızıntının açık veya kapalı ortamda olma durumlarına göre senaryo oluşturulabilmektedir.
- 3 farklı etki mesafesi için hesaplama yapılabilir.

PAREA programının eksileri

- Patlama etkisi hesaplanmasında yalnızca TNT eşdeğeri metodu kullanılmaktadır. Bu nedenle TNT eşdeğeri metoduna ait dezavantajlar PAREA programında da bulunmaktadır.

- Sıvı sızıntısı senaryosunda boşalma hızının zamana bağlı olarak azalması dikkate alınmamaktadır.
- Patlamanın açık alanda meydana geldiği kabulü yapılmaktadır. Dolayısıyla kapalı alanlarda sınırlı hacmin neden olacağı basınç artışı dikkate alınmamaktadır.
- Gaz sızıntısı senaryosunda sıkıştırılabilirlik faktörü ihmal edilmektedir ve ideal gaz kabulü yapılmaktadır.
- Programda kullanılan buharlaşma modelinde yüzey pürüzlülüğü, boşalmanın meydana geldiği bölgedeki zeminin yapısı, arazinin topografik özellikleri dikkate alınmamaktadır.
- Buharlaşma sonrası dispersiyon modeli kullanılmamaktadır. Sızan maddenin buhar yoğunluğu ve çıkış momentumu dikkate alınmamaktadır. Buhar bulutunun her halde LEL-UEL arasında olduğu kabul edilmektedir.
- Bütünlük kaybından sonra oluşan bulutun atmosferik koşullar nedeniyle oluşturduğu geometri dikkate alınmamaktadır. Patlama noktasal kaynak olarak kabul edilmektedir.

5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kaynakların sınırlı, insan ihtiyaçlarının sınırsız olduğu çağımızda, üretim yöntemlerindeki değişim, çalışma ortam ve şartlarının da değişmesine neden olmaktadır. Bu değişimler, yeni risklerin ortaya çıkmasına beraberinde getirmektedir. Dünyada ve ülkemizde iş sağlığı ve güvenliğine verilen önemin ve güvenlik kültürünün artması ile birlikte risk değerlendirmesi, dünyada ve ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği çalışmalarının temelini oluşturmaya başlamıştır. Risk değerlendirmesi tehlikelerin tanımlanması, bu tehlikelerden kaynaklanacak risklerin analiz edilmesi, alınması gereken tedbirlerin kararlaştırılması ve uygulanması aşamalarını içerisine alan bir süreçtir.

İşçiyi koruma ve gözetme borcunun işverene yüklediği en temel ve önemli sorumluluklardan birisi, işyerinde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili tedbirleri almaktır. Özellikle son yıllarda ülkemizde meydana gelen iş kazaları, işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanmasının önemini bir kere daha ortaya çıkarmıştır. İşyerlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanması için ise kazalara neden olabilecek hataların neler olduğunun tespit edilmesi ve bu hataların ortadan kaldırılması için yapılması gerekenlerin belirlenmesi gerekmektedir. Önemli olan bir kaza olduktan sonra hatanın ne olduğunun anlaşılması değil, çalışanlar herhangi bir zarar görmeden önce olası hataların tespit edilmesi ve elimine edilmeye gayret edilmesidir.

Bu çalışmada, Hata Türleri ve Etkileri Analizi(HTEA) kullanılarak bir patlayıcı madde üretim tesisinde risk faktörleri tespit edilmiş ve RÖS değerleri hesaplanmıştır. Tespit edilen risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi aşamasında ortaya çıkan belirsizliklerin giderilmesi amacıyla risk analizi aracı olarak birde bulanık mantık yaklaşımından yararlanılmıştır. Her iki yöntem kullanılarak elde edilen sonuçlar karşılaştırılarak yorumlanmıştır. Son olarak her iki metotta da en yüksek risk olan patlama riskine yönelik etki analizi yapılabilmesi için yeni bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Çalışmada, patlayıcı madde üretim tesislerinde üretim ve depolama faaliyetleri aşamalarında oluşabilecek risklerin tespit edilmesi, bu risklerin ortaya çıkmasına neden olabilecek tehlikelerin belirlenmesi, kaynakların etkin ve verimli kullanımını temin etmek için risklerin analizi ve derecelendirilmesi, bunların yok edilmesi veya azaltılması amacıyla alınması gerekli önlemlerin kararlaştırılması, patlama riskine yönelik etki mesafesinin

hesaplanması ve bu yolla işyerlerindeki iş kazalarının azaltılması, işyerlerindeki sağlık ve güvenlik standardının artırılması amaçlanmıştır.

Yapılan çalışmada tesis genelinde 206 risk tespit edilmiştir. Bu risklerin büyüklüğüne göre sıralanarak önceliklendirilmesi için HTEA metodundaki olasılık, şiddet ve tespit edilebilirlik bileşenleri kullanılmıştır. Sonrasında bu bileşenlerin tespit edilmesi aşamasındaki subjektifliğin giderilebilmesi amacıyla, risklerin önceliklendirilmesi için bulanık mantık yaklaşımından yararlanılmıştır. Her iki metotta da en yüksek risk olarak ortaya çıkan patlama riskinin değerlendirilebilmesi ve etki mesafesinin hesaplanabilmesi amacıyla PAREA adı verilen yeni bilgisayar programı geliştirilmiştir. Yapılan analiz ve değerlendirmeler neticesinde aşağıdaki sonuçlara varılmıştır.

- Tesis genelinde 85 kabul edilemez, 101 önlem alınabilir ve 20 önlem almaya gerek olmayan olmak üzere toplam 206 adet risk tespit edilmiştir. Bu risklerin yaklaşık yarısı yangın ve patlamaya neden olabilecek risklerdir.
- Tesis genelinde tespit edilen ve en yüksek RÖS değerli risk “uzun süre depolanacak barutlarda stabilite testlerinin yapılmaması” riski olarak tespit edilmiştir. Bu risk patlayıcı maddelerin doğasından kaynaklanmakta olup, önlem alınmadığı takdirde patlayıcı maddelerin depolanma sırasında kendi kendine tutuşmasına ve katastrofik kazalara neden olabilir. Bu nedenle bu tür otokatalitik reaksiyonların önlenmesi önem arz etmektedir. Bu riskin bertaraf edilmesi için üretilen her bir kafiye veya şarj için ilk balistik test zamanına gelindiğinde kimyasal kararlılık testleri mutlaka yapılmalıdır. Bunun haricinde kimyasal kararlılığın sıkı bir şekilde takip edilmesi hayati önem taşımaktadır. Bu amaçla özellikle uzun süreli depolaması yapılan barut şarjlarının veya kafiyelelerinin belirlenecek düzenli aralıklara stabilite testlerinin yapılmasının sağlanmasına yönelik etkin bir sistem kurulmalıdır. Her bir kafiye ve ürün grubu için raf ömrü belirlenmelidir. Stabilite testinden geçemeyen ve raf ömrü dolan barutlar derhal imha edilmelidir.
- Tesis genelinde tespit edilen ve en yüksek ikinci RÖS değerine sahip risk “mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, v.b gibi sürtünmeye maruz yerler ile elektrik motorları üzerlerinde tehlikeli miktarlarda ham kitle ve nitroselüloz birikmesi” riski olarak tespit edilmiştir. Bu riskin bertaraf edilmesi veya azaltılması amacıyla tesis genelinde atık ve artıkların yönetiminin etkin bir şekilde yapılması gerekmektedir. Bu amaçla patlayıcı madde elleçlemesinin yapıldığı tüm bölümlerde dökülen, saçılan maddeler derhal

temizlenmeli, işe başlamadan önce ekipmanların ve zeminin patlayıcı maddeler ile kirletilmemiş olduğundan emin olunmalıdır. Bu konuda yapılan iş ve işlemler kayıt altına alınmalıdır.

- Tesis genelinde patlayıcı ortamdan kaynaklanan risk yalnızca küresel barut atölyesinde tespit edilmiştir. Zira nitroselüloz atölyesinde patlayıcı ortam oluşturabilecek hammadde bulunmamaktadır. Patlayıcı ortam oluşumu etil asetat parkında/ana binada etil asetat ve kuru kaplama bölümünde izopropil alkol kullanımından kaynaklanmaktadır. Bu türden risklerin tamamıyla bertaraf edilmesi yapılan işin doğası gereği her zaman mümkün olmamaktadır. Bununla birlikte riskin kabul edilebilir seviyeye çekilmesi adına öncelikle patlayıcı ortam oluşumun önüne geçilmeye çalışılması sonrasında ise tutuşma kaynaklarının aktif ve etkili olma ihtimalleri bertaraf edilmeye çalışılmalıdır. Bu amaçla en son olarak, hesaplanan patlama etki mesafesi de göz önünde bulundurularak teknik ve organizasyonel seviyede önlemler alınmalıdır.
- Nitroselüloz üretim atölyesinde tespit edilen risklere ait RÖS değerlerinin, küresel barut atölyesinde tespit edilen RÖS değerlerinden daha küçük olduğu belirlenmiştir. Bu noktadan hareketle küresel barut atölyesinin, nitroselüloz atölyesine göre daha riskli olduğu iddia edilebilir.
- Nitroselüloz atölyesinde; 50 kabul edilemez, 57 önlem alınabilir ve 8 önlem almaya gerek olmayan olmak üzere toplam 115 adet risk tespit edilmiştir. En çok risk nitrasyon bölümünde, en az risk ise asit hazırlama bölümünde ortaya çıkmıştır. Kabul edilemez riskin en çok olduğu bölüm nitrasyon bölümü iken, en az kabul edilemez riskin tespit edildiği bölüm ise asit hazırlama bölümüdür.
- Nitroselüloz üretim atölyesinde tespit edilen risklerin %43'ünün kabul edilemez, %50'sinin önlem alınabilir, %7'sinin ise önlem almaya gerek olmayan risk olduğu tespit edilmiştir. Bu durum nitroselüloz atölyesinde RÖS değerlerinin, önlem almaya gerek olmayan risk seviyesine kadar düşürmek için ilave kontrol tedbirleri kararlaştırılmasını ve uygulanmasını zorunlu kılmaktadır.
- Nitroselüloz atölyesinde 200 puanlık RÖS değeriyle nitroselüloz deposunda nitroselüloz atıklarının temizlenmemesi riski en yüksek risk olarak tespit edilmiştir. Bu riskin ardından nitrasyon bölümünde santrifüj sürüklenme suyu beslemesi flowmetresinin hatalı değer üretmesi ve hallaç bölümündeki toz depolama alanının kısa aralıklarla boşaltılmaması riskleri gelmektedir.

- Küresel barut atölyesinde; 37 kabul edilemez, 49 önlem alınabilir ve 17 önlem almaya gerek olmayan olmak üzere toplam 91 adet risk tespit edilmiştir. En çok risk ana bina bölümünde, en az risk ise eleme bölümünde ortaya çıkmıştır. Kabul edilemez riskin en çok olduğu bölüm ana bina bölümü iken, en az kabul edilemez riskin tespit edildiği bölüm ise etil asetat bölümüdür.
- Küresel barut atölyesinde tespit edilen risklerin %39'unun kabul edilemez, %48'in önlem alınabilir, %13'ünün ise önlem almaya gerek olmayan risk olduğu tespit edilmiştir. Bu durum küresel barut atölyesinde RÖS değerlerinin, önlem almaya gerek olmayan risk seviyesine kadar düşürmek için ilave kontrol tedbirleri kararlaştırılmasını ve uygulanmasını zorunlu kılmaktadır.
- Küresel barut atölyesinde 270 puanlık RÖS değeriyle barut deposunda uzun süre depolanacak barutlarda stabilite testlerinin yapılmaması riski en yüksek risk olarak tespit edilmiştir. Bu riskin ardından kuru kaplama bölümünde havalandırmanın yetersizliği ve ana binada mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, v.b gibi sürtünmeye maruz yerler ile elektrik motorları üzerlerinde tehlikeli miktarlarda ham kitle ve nitroselüloz birikmesi riskleri gelmektedir.
- HTEA metodu bileşenlerinin sayısallaştırılması aşamasında, risk değerlendirmesi ekibi oluşturularak subjektifliğin giderilebilmesi amacıyla beyin fırtınası toplantıları yapılmıştır. Ancak incelenen riskin karmaşık olması, bununla ilgili yeterli bilginin bulunamaması, ekipteki üyelerin bilgi/sezgi/tecrübe farklılıkları, RÖS değerini büyük ölçüde etkilemektedir.
- Klasik HTEA bilenleri kullanılarak hesaplanan RÖS değerleri ile bulanık model oluşturularak bu modelle hesaplanan B RÖS değerleri arasında büyük ölçüde bir uyum olduğu anlaşılmıştır. Tesis genelinde tespit edilen toplam 206 riskin yaklaşık %80'inde RÖS değeri ile B RÖS değeri arasında bir uyum söz konusudur. Bununla birlikte tesis genelinde tespit edilen toplam 206 riskin 20'si küresel barut atölyesi, 20'si nitroselüloz atölyesi olmak üzere toplam 40 riskte, RÖS ile B RÖS arasında uyumsuzluk tespit edilmiştir.
- Klasik HTEA yönteminde bilginin belirsiz olması, tam olmayışı, kısmen doğru olması, kısmen olası olması gibi nedenlerle belirsiz olarak elde edilen RÖS sonucuna nazaran, bulanık mantık metoduyla elde edilecek RÖS sonucuna göre alınacak tedbirlerin kararlaştırılması kaynakların daha etkin kullanılabilmesine imkân tanıyabilir. Risk girdilerinin sayısallaştırılması aşamasında bilginin belirsiz ve net olmaması hallerinde

RÖS büyüklüklerine bakarak alınması gereken önlemlerin kararlaştırılması, riskin gerçek durumu ile uyumlu olmayabilir.

- Klasik HTEA yönteminde risk girdilerinin ağırlıklarının eşit kabul edilmesi ve önemlerinin farklı olabileceğinin ihmal edilmesi, insanlardaki risk algısının şiddet ağırlıklı olması ve bulanık mantığın buna imkân vermesi, bulanık mantık metodunun en önemli avantajı olarak değerlendirilmiştir.
- Risk analizinde kullanılan girdiler(olasılık, şiddet, tespit edilebilirlik), güvenilir bir şekilde elde edilebiliyor ve belirli ise HTEA, aksi durumlarda ise bulanık HTEA(Fuzzy FMEA) metodunu kullanmak, belirsizlikten arındırılmış sonuçlar vermesi açısından tercih edilmelidir.
- Ülkemizde, patlayıcı madde üretim tesisleri de dahil olmak üzere patlama riskinin var olduğu endüstriyel tesisler, gerek tesiste uygulanan yönetim sistemi ve gerekse uymakla yükümlü bulundukları mevzuat gereği patlama riskini değerlendirmek ve patlamanın muhtemel etkilerini belirlemek zorundadır. Patlamanın olası etkilerinin belirlenmesi risk yönetim sistemleri açısından oldukça önemlidir. Zira mevcut tedbirlerin yeterliliği ve alınacak ek tedbirler ancak patlamanın olası etkilerinin belirlenmesinden sonra yerine getirilebilir.
- Patlayıcı madde üretim tesislerinde hem patlayıcı maddelerden hem de patlayıcı ortamdan kaynaklanacak patlama riskinin analiz edilmesi amacıyla ismi patlama riskine yönelik etki analizi kelimelerinin baş harflerinin kısaltılmasından oluşan ve PAREA adı verilen bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Bu program yardımıyla sadece uygulama yapılan tesiste değil tüm patlayıcı madde üretim tesislerinde ve patlayıcı ortam oluşan işyerlerinde patlama riskine yönelik analiz yapmak, patlama etki mesafesini hesaplamak mümkün olacaktır.
- PAREA programı kullanılarak patlayıcı ortamdan kaynaklanan patlama riskine yönelik örnek bir etki mesafesi hesaplanması yapılmıştır. 2 metre çapında, 5 metre uzunluğunda dikey bir tanktan etil asetatın, 5 cm çapında ve tankın dip noktasındaki bir delikten 10 dakika boyunca boşalmakta olduğu, tankın doluluk oranının %80 ve boşalım katsayısının 1 kabul edildiği, açık alanda bulundurulmuş tank etrafında 100 m² alanında bir taşma havuzu olduğu ve rüzgar hızının 5 m/s, sıcaklığın 30 °C olduğu kabul edilerek yapılan hesaplamada patlamanın TNT eşdeğer kütlesi 118,77 kg olarak hesaplanmıştır. Bu patlamanın 50 mbar, 140 mbar ve 200 mbar yüksek basınç seviyesinde oluşturacağı etki mesafeleri ise sırasıyla 108 m, 49 m ve 37 m olarak bulunmuştur.

- PAREA programı kullanılarak patlayıcı maddelerden kaynaklanan patlama riskine yönelik örnek bir etki mesafesi hesaplanması yapılmıştır. 20000 kg küresel barutun bulunduğu bir depoda meydana gelebilecek bir patlamanın TNT eşdeğer kütlesi 14000 kg olarak hesaplanmıştır. Bu patlamanın 50 mbar, 140 mbar ve 200 mbar yüksek basınç seviyesinde oluşturacağı etki mesafeleri ise sırasıyla 530 m, 241 m ve 183 m olarak bulunmuştur.

Ülkemiz iş sağlığı ve güvenliği alanında henüz istenilen seviyede değildir. Akademik çalışmalar açısından da durum farklı değildir. Ülkemizde iş sağlığı ve güvenliği alanında yapılan akademik çalışmalar niceliksel olarak yeterli olmadığı gibi tüm alanları kapsayıcı nitelikte de değildir.

Güvenlik, endüstri için her zaman önemli bir husus olmuştur. Son yıllarda yaşanan çevre sorunları, yaşanan patlamalar ve toplumsal risklere yönelik kaygılar patlama riskine yönelik analiz yapma ihtiyacını da doğurmuştur. Zira patlama riskinin var olduğu tesislerde olası bir patlamanın etkilerinin ne olacağı bilinirse, alınması gerekli önlemleri belirlemek de mümkün olabilecektir.

Patlayıcı madde üretim sektörü, dünyada ve ülkemizde gerek kullanılan hammadde ve yardımcı maddeler, gerekse üretim yöntem ve şekillerinden kaynaklanan nedenlerden dolayı en riskli sektörlerden biridir. Özellikle piroteknik mamul madde üretim tesisleri başta olmak üzere, 2008 yılından bugüne kadar patlayıcı madde üretim tesislerinde meydana gelen patlama ve yangınlarda bir çok kişi yaralanmış hatta yaşamını kaybetmiş ve tesislerin bir kısmının kullanılamaz duruma gelmesi de dahil çok büyük çapta maddi hasarlar oluşmuştur. Patlayıcı madde üretilen tesislerde meydana gelen kazaların bazıları insan hatasından kaynaklanmaktayken, bazıları ise patlayıcı madde üretim proseslerindeki kontrol kayıplarından meydana gelen kazalardır. Söz konusu proses kontrol kayıpları sonucu oluşan kazalar, meydana gelme frekansları düşük olsa da etkileri itibariyle gerek işyeri sınırlarında, gerekse bu sınırların ötesinde büyük sonuçlar doğurabilmektedir.

Patlayıcı madde üretim sektörü, dünyada ve ülkemizde gerek kullanılan hammadde ve yardımcı maddeler, gerekse üretim yöntem ve şekillerinden kaynaklanan nedenlerden dolayı en riskli sektörlerden biridir. İşyerinde kullanılan hammadde, yarı mamul ve mamullerin doğasından kaynaklanan tehlikeler, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili çalışma

mevzuatı hükümlerinin tam anlamıyla yerine getirilememesi, istihdam edilen personelin nitelik ve nicelik yönünden eksiklikleri, üretimde yeterli teknolojinin kullanılmaması, düzenli ve etkin denetleme ve gözetme mekanizmasının kurulamaması, patlayıcı madde üretim tesislerindeki ana riskler olarak belirlenmiştir.

Patlayıcı madde üretim süreci başından sonuna kadar bir dizi karmaşık işlemlerin ve bazı kararsız kimyasalların yol açtığı kazalar nedeniyle yüksek ölüm oranı ile karakterizedir. Patlayıcı madde üretiminin doğasında var olan bu risklere rağmen etkili bir güvenlik yönetimi, risk faktörlerinin belirlenmesi, işçiler ve işverenlerin muhtemel riskler konusunda eğitilmesi ve olası kaza senaryolarına göre gerekli önlemlerin alınması ile bu riskleri bertaraf etmek, bertaraf edilemeyen riskleri kabul edilebilir seviyelere çekmek mümkündür.

Yapılan çalışmalar ve elde edilen sonuçlar neticesinde getirilen öneriler aşağıda belirtilmiştir.

- Risk algısı temelde subjektif bir kavram olup kişinin bilgi, sezgi ve tecrübesiyle sıkı bir ilişki içerisindedir. Hiçbir risk analizi tekniği, proses tehlikeleri konusunda yeterince bilgi sahibi olunmadan riskin mutlak büyüklüğü konusunda anlamlı sonuç sağlayamaz. Bu noktadan hareketle risk analizini yapacak ekip üyeleri, analizin yapıldığı bölüm konusunda yeterince bilgi sahibi olan kişilerden seçilmelidir.
- İşyerinde olası tehlikeler ve bu tehlikeler gerçekleştiğinde ortaya çıkması muhtemel sonuçlar gerçekçi biçimde tespit edildiğinde, iş kazası ve meslek hastalıklarının önlenmesi için alınması gerekli tedbirlerin ne olduğunun belirlenmesinin ve uygulanmasının o denli kolay olacağına şüphe yoktur. Diğer tehlike tanımlama yöntemlerinde de olduğu gibi, tek başına HTEA analiziyle, tüm tehlikelerin ve risklerin tanımlanabileceği garanti değildir. Önemli olan hangi risk analizi tekniğinin kullanıldığı değil, prosesin veya sistemin gerçekte sahip olduğu tehlikelerin ne derece risk analizine yansıtılabildiğidir. Bu sebeple farklı risk analizi teknikleri birlikte uygulanmak suretiyle, tüm tehlikelerin tanımlanması ve risklerin analiz edilmesine gayret edilmelidir.
- Risk değerlendirmesi, tehlikelerin tanımlanması, risklerin analizi ve derecelendirilmesi ve alınacak önlemlerin belirlenmesi aşamalarını içerisine alan bir süreçtir. Burada tehlike tanımlama, bir işyerinde veya proseste ne yanlış gidebilir, neden yanlış gidebilir

sorularının cevabı, risk analizi ise tehlikelerden kaynaklanan istenmeyen olayın kimi, neyi, nasıl, hangi olasılıkta ve şiddette etkiler sorularının cevabı olarak ele alınmalıdır. Risk değerlendirmesi çalışmalarının risk yönetiminin bir parçası olduğu unutulmamalıdır. Başka bir ifade ile risk değerlendirme çalışması yapıldıktan sonra risklerin değişmesi, dönüşmesi ve yeni risklerin ortaya çıkması gibi durumlar dikkate alınıp yapılan çalışma sonlandırılmamalı, bilakis sürekli canlı tutulmalı ve güncellenmelidir.

- İş kazalarının temel sebeplerinden bazıları kurallara uymadan çalışma, baskı ve stres altında çalışma, dalgınlık, kendine aşırı güven ve yorgunluk gibi güvensiz çalışma davranışlarıdır. Güvensiz çalışma davranışlarını tamamıyla engellemek mümkün olmamakla birlikte yeterince azaltmak ve bu yolla işyerlerinde güvenlik iklimi tesis etmek zor değildir. Çalışanlara verilecek iş sağlığı ve güvenliği eğitimleri ve mesleki eğitimler farklı boyutlarıyla ele alınmalıdır. İş sağlığı ve güvenliği eğitimleri ilköğretimden başlatılmalı bu sayede toplumsal bilinç oluşturulmalıdır. İşyerlerinde uygulanan eğitimlerin seviyesinin artırılmalı ve eğitimler davranış değişikliğine neden olacak etkinliğe ulaştırılmalıdır. İş sağlığı ve güvenliği eğitimlerinin verilmesi ve işyerlerinde güvenlik bilinci ve güvenlik kültürünün oluşturulması, güvensiz davranışları önemli ölçüde engelleyecektir. Bir işyerinde güvenlik bilincinin yayılmasının olumlu sonuçlarından bir diğeri de, grup etkisinin güvensiz davranışları kontrol altında tutabilmesidir.
- Çalışan insanın güvensiz davranışlarının temelinde eğitimsizlik bulunmaktadır. Bunun yanı sıra insanın fizyolojik ve psikolojik yapısı ile çevre koşulları da güvensiz davranışları tetikleyebilmektedir. Örneğin uzun çalışma süreleri çalışanın dikkatini dağıtarak güvensiz davranışların ortaya çıkmasına neden olabilir.
- PAREA programının asıl amacı patlayıcı madde ve patlayıcı ortamdan kaynaklanacak patlama etkisinin azaltılması için mevcut tedbirlerin yeterliliği ve alınacak ek tedbirlerin neler olması gerektiği konusunda bir fikir sağlamaktır. Tesis yerleşiminin planlanması ya da arazi planlaması gibi optimizasyon amaçlı hassas planlar için bu program tavsiye edilmemektedir.
- PAREA programında patlama etkilerinin hesaplanmasında ülkemize ait sınır değerleri bulunmadığından Fransız mevzuatı kullanılmıştır. Yüksek basıncın insan üzerindeki sınır değerleri belirlenirken yüksek basıncın oluşturduğu yalnızca birinci etki değil, ikinci ve üçüncü etkilerde dikkate alınarak belirlenmelidir.

- Ülkemizde, patlayıcı madde işyerlerinin çevreye olan güvenlik uzaklıklarını deterministik bir yolla belirleyen mevzuat bulunmaktadır. Ancak bu belirlemede patlayıcı maddelerin tamamının aynı patlama etkisine sahip olduğu kabul edilmektedir. Patlayıcı maddelerin TNT eşdeğerlikleri dikkate alınarak bu değerlendirmenin yeniden ve gerektiğinde olasılık temelli olarak yapılmasına ihtiyaç vardır.
- Patlama riskine yönelik etki analizinin yapılması oldukça karmaşık bir dizi işlemi ve uzmanlaşmayı gerektiren bir süreçtir. Bu amaca hizmet eden bir çok ticari bilgisayar simülasyon programı bulunmaktadır. Ancak bunların tamamına yakını ticari ve oldukça maliyetli programlardır. Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik kapsamına giren işyerlerinde bu tür programların kullanımı tavsiye edilmektedir. Ancak bahsi geçen yönetmelik kapsamında olmayan ve Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik kapsamında patlama riskinin etkilerini değerlendirmek zorunda olan birçok küçük ve orta ölçekli işyerleri bulunmaktadır. Ülkemizde bu zorunluluğu yerine getirmek durumunda kalan birçok işyeri bulunmakta olup, bu işyerlerinin finansal yapısı bu tür maliyetli programları edinmelerini engelleyebilir. Bu çalışma kapsamında geliştirilen PAREA programı bu türden işyerleri için oldukça uygundur. Zira patlama etkisinin elle hesaplanması oldukça uzmanlık gerektiren zaman alıcı ve yorucu bir konudur. Bununla beraber PAREA programının TNT eşdeğeri metodunun yanı sıra Multi Energy, BST metodlarının eklenmesi, buharlaşmaya yönelik daha kapsayıcı modeller kullanılması, dispersiyon modeli eklenmesi gibi bazı özelliklerinin ilerleyen zamanlar içerisinde iyileştirilmesi yerinde ve yararlı olacaktır.

KAYNAKLAR

- Ahmed, W. (2012). (Editör). Nuclear power-practical aspects London:Intech Publishing, 5/127
- Akın, B. (1998). *ISO 9000 uygulamasında işletmelerde hata türü ve etkileri analizi*. İstanbul:Bilim Teknik Yayınevi, 12-63
- Alan, B.R. (2008), *LNG taşımacılığı risk analizi ve emniyet yönetim modeli*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 21
- Alkan, A. (2006). *Kimyasal patlayıcıların infilakı sonucunda oluşan ses şiddetinin ölçeklendirme yasaları kullanılarak tahmin edilmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Ege Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 7
- Allen H., Hua, A. H., Hsu, C., Kuo, T. ve Wua, W. (2009). *Risk evaluation of green components to hazardous substance using FMEA and FAHP*. Expert Systems with Applications 36, 7142-7147
- Al-shanini, A. (2014). *Accident modelling and analysis in process industries*. Journal of Loss Prevention in the Process Industries 32, 319-334
- Altaş, İ.H. (1999). *Bulanık Mantık: Bulanıklılık Kavramı*. Enerji, Elektrik, Elektromekanik-3e, 62, 80-85.
- American Bureau of Shipping Incorporated. (2003). *Risk Evaluations For The Classification Of Marine-Related Facilities*, New York, USA: American Bureau of Shipping Incorporated
- American Institute of Chemical Engineers Centre for Chemical Process Safety (1998) *Guidelines for Evaluating the Characteristics of Vapour Cloud Explosions, Flash Fires, and BLEVEs*. New York:CCPS, 100-120
- American Institute of Chemical Engineers. (1996). *Guidelines For Use Of Vapor Cloud Dispersion Models* (Second Edition), New York: American Institute of Chemical Engineers, 25-26
- American Institute of Chemical Engineers. (2000). *Guidelines for Chemical Process Quantitative Risk Analysis*. New York: American Institute of Chemical Engineers, 69,72,95,97,159-166
- American Institute of Chemical Engineers. (2008). *Guidelines for Vapor Cloud Explosion,Pressure Vessel Burst,BLEVE, and Flash Fire Hazards*, New York:Wiley, 168-175
- Apkon, M., Leonard, J., Probst, L., Delizio, L. ve Vitale, R. (2004). *Design Of A Safer Approach To Intravenous Drug Infusions: Failure Mode Effects Analysis*. Quality And Safety In Health Care, 13, 265-271

- Arda, M.M. (2008). *Risk assessment for a denim manufacturing plant in Turkey* Yüksek Lisans Tezi, Ortadoğu Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 44-45
- Arda, M.M. (2008). *Risk assessment for a denim manufacturing plant in Turkey*. Master Thesis, Middle East Technical University The Graduate School of Natural and Applied Sciences, 1-220
- Arunraj, N.S., Maiti, J. (2009). *A methodology for overall consequence modeling in chemical industry*. Journal of Hazardous Materials 169, 556-574
- Avrupa Çevre Ajansı. (2003). *Avrupa’da yakın tarihlerde yaşanan doğal felaketlerin ve teknolojik kazaların etkilerinin incelenmesi*, Copenhagen: Avrupa Çevre Ajansı, 39-41
- Barber, R.B. (2005). *Understanding internally generated risks in projects*, International Journal of Project Management, 23(2005), 584-590.
- Bayar, N. (2010). *İstanbul boğazında deniz trafik güvenliğinin risk tabanlı bulanık-AHP ve FMEA yöntemleriyle incelenmesi*. Doktora Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 120
- Baykal, N., Beyan T. (2004). *Bulanık mantık uzman sistemler ve denetleyiciler*. Ankara:Bıçaklar Kitabevi, 105-106, 132-133, 190,214
- Bilgin Ö. (2006). *Hata türleri ve etkileri analizinde bulanık mantık uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 58,72
- Bilgin Ö. (2006). *Hata türü ve etkileri analizi’nde bulanık mantık uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi. Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 50-70
- Bjerketvedt, D., Bakke, J:R., ve Wingerden, K. (1998) *Gas Explosion Handbook*. Norway:Gexcon
- Bolat, Y. (2006). *Matlab-Simulink + PIC tabanlı bulanık mantık denetleyici tasarımı ve gerçek zamanlı sıcaklık kontrolü uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 30
- Boran, S. (1996). *Hata şekli ve etkileri analizinin bulanık küme yaklaşımıyla çözümlenmesi olanağı*. Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 120
- Bosch, C.J.H.V.D. ve Weterings, R.A.P.M. (2005). (Editörler) *Methods for the calculation of Physical Effects Due to releases of hazardous materials, Due to releases of hazardous materials (liquids and gases)* Netherland: The Director-General for Social Affairs and Employment, 7-14, 5-42
- Burke, R. (2003). *Hazardous Materials Chemistry for Emergency Responders*. USA:CRC Press, 124
- Casal, J. (2008). *Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants*. (First Edition) Hungary:Elsevier, 3-128

- Casal, J. (2008). *Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants*. (First Edition) Hungary:Elsevier, 3-128
- Chevalier, F. (2012). *OCP – SAFI Chemical complex feedback in industrial risk analysis*. Sciverse ScienceDirect Procedia Engineering, 46, 289-290.
- Civelekler, E. (2012). *Bir manyezit işletmesinde hata türü ve etkileri analizi yöntemi ile iş sağlığı ve güvenliği risk analizi*, Yüksek Lisans Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 2
- Commission of the European Communities. (2003). *Non-binding guide of good practice for implementing of the european parliament and council directive 1999/92/EC on minimum requirements for improving the safety and health protection of workers potentially at risk from explosive atmospheres*. Brussels:European Commission, 4
- Cox, A.W., Lees, F.P., ve Ang, M.L. (2000). *Classification of hazardous locations*. United Kingdom: Institution of Chemical Engineers, 44
- Crowl, D.A. (2003). *Understanding Explosions*. New York: CCPS, 1-2, 69-71
- Crowl, D.A., Louvar, J.F. (2002). *Chemical Process Safety Fundamentals with Applications*. New Jersey:Prentice Hall PTR, 112-120, 130-133, 267, 270
- Dadashzadeh, M., Khan, F., Hawboldt, K., Amyotte, P. (2013). An integrated approach for fire and explosion consequence modelling, *Fire Safety Journal* 61, 324–337
- Deniz E. (2006). *Bulanık mantık tabanlı tahmin modeli ve uygulaması*, Yüksek Lisans Tezi. Muğla Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
- Devlet Planlama Teşkilatı. (1999). *Tehlikeli maddelerin çevresel risk değerlendirmesi-DPT projesi son rapor*, İstanbul:Devlet Planlama Teşkilatı, 3.
- Dirgeme, E.N. (1998). *Yapı üretiminde risk yönetimi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 195.
- Doğan, O. (2006). *Esnek üstyapılı devlet yollarındaki bozulmaların bulanık mantık ile tahmini*, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, 9
- Duffus, J. H., and Worth, H. G. J. (Editörler). (1996). *Fundamental toxicology for chemists*, Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 327
- Durhan, N.D. (2006). *Hata türü etkileri analizi (FMEA) ve bir uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-140
- Durmaz, R.C. (2010). *İnşaat sektöründe bulanık risk değerlendirmesi uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 98
- Eleren, A. ve Ersoy, M. (2011). *Mermer Ocaklarında Elmas Tel Ve Kollu Kesiciyle Kesme Teknolojilerinin İş Güvenliği Bakımından Karşılaştırılmasında Hata Türü Etki Analizi Yönteminin Uygulanması*. TÜBAV Bilim Dergisi, 4(1), 9-19

- Elmas, Ç. (2003). *Bulanık mantık denetleyiciler*. (Birinci Baskı). Ankara: Seçkin Yayınevi, 29-40
- Elms, D.G. (1992). *Risks assesment*. London UK:McGraw Hill International, 28
- Environmental Protection Agency. (1997). *Framework for Environmental Health Risk Management-The Presidential/Comgessional Comission on Risk Assesment and Risk Management*. Washington D.C: Energy Protetion Agency, i
- Ersoy, M. ve Eleren, A. (2009). *Hata türü ve etkileri analizi ile iş sağlığı ve güvenliği tabanlı süreçlerin iyileştirilmesi ve mermer ocak işletmelerinde bir uygulama*. Madencilik Dergisi, 48(3) 19-32
- Esin B. (2007). *Bulanık kümelerin üyelik fonksiyonlarının belirlenmesi*. Yüksek Lisans Tezi. Gaziosmanpaşa Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-145
- Factory Mutual Insurance Company (2008). *Guidelines for evaluating the effect of vapor cloud explosions using a TNT equivalancy method*. USA: Factory Mutual Insurance Company, 19
- Flayeh, A. (2009) *İş güvenliği tehlike risk analizleri ve bir işletmede uygulama*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya, iii
- Fthenakis, V.M. (Editör). (1993). *Prevention and Control of Accidental Releases of Hazardous Gases*. London:International Thomson Publishing, 439
- Glassman. I., Yetter, R.A. ve Glumac, N.G. (2008). *Combustion*. (Fifth Edition). USA:Elsevier, 255-256
- Gönen, Demet.(2004). *Hata Türleri ve Etkileri Analizi ve Bir Uygulama Çalışması*, Yüksek Lisans Tezi, Balıkesir Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 8
- Görgülü, Ö. (2007). *Bulanık mantık (fuzzy logic) teorisi ve tarımda kullanım olanakları üzerine bir araştırma*. Doktora Tezi, Mustafa Kemal Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 25-26, 34-35
- Gray, C., Larson, E.W. (2007). *Project management: The managerial process*. (Third Edition). New York:McGraw-Hill, 576
- Guimaraes A., Lapa C.F. ve Franklin, C.M. (2004). *Effects analysis fuzzy inference system in nuclear problems using approximate reasoning*. Annals of Nuclear Energy, 31, 107-115
- Hauschild, J. (2012). *How to assess external explosion pressure waves* RT&A, 1(24), 51
- Hawskley, J.L. (1999). *Developping a Major Accident Prevention Policy*. Journal of Hazardous Materials, 65, 109-121

- Health and Safety Executive. (2013). *Methods of approximation and determination of human vulnerability for offshore major accident hazard assessment*. England:HSE, 10
- Hyatt, N. (2004). *Guidelines for Process Hazards Analysis (PHA, HAZOP), Hazards Identification*. Canada:Dyadem Press, 14-4
- INERIS. (2013). *Seveso II direktifinin uygulama kapasitesinin artırılması için teknik yardım projesi güvenlik raporu çalıştayı*. Ankara: Europeaid Programı Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, 7,35
- International Organization for Standardization. (2012). *Risk Management- Vocabulary*. Switsherland: International Organization for Standardization, 3
- Jones, D.A. (1992). *Nomenclature for hazard and risk assessment in the process industries*. (Second Edition). Rugby U.K: Institution of Chemical Engineers, 3
- Kahraman Ö. ve Demirer A. (2010). *OHSAS 18001 kapsamında FMEA uygulaması*. Makine Teknolojileri Elektronik Dergisi, 7 (1), 53-68
- Kahraman, Ö. (2009). *Bir otomobil fabrikasında iş sağlığı ve güvenliği alanında HTEA (FMEA) yöntemi ile risk analizi*. Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 20
- Kalkan, M.E. (2006). *Karayolu ile tehlikeli madde taşımacılığında yerleşim alanlarının riskleri*, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 64-65
- Kent, J.A. (2007). (Editör). *Kent and Riegel's Handbook of Industrial Chemistry and Biotechnology* New York:Springer Science, 123
- Kerzner, H. (2006). *Project management: A systems approach planning scheduling and controlling*, (Tenth Edition), New York: John Wiley & Sons. Inc., 1040.
- Kıyak, E., Kahvecioğlu, A. (2003). *Bulanık mantık ve uçuş kontrol problemine uygulanması*. Havacılık ve Uzay Teknolojileri Dergisi, 1(2), 63-72
- Kuşan, H. (2009). *İnşaat projelerinde risklerin bulanık mantık modeli ile değerlendirilmesi*, Doktora Tezi, Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Eskişehir, 7.
- Legrard, J.B. (2007). *A soldiers handbook volume 1:Explosive operations*, USA:Departmant of Army, 2-3
- Lia, J., Huang, G.H., Zeng, G., Maqsood, I., ve Huang, Y. (2007). *An integrated fuzzy-stochastic modeling approach for risk assessment of groundwater contamination*. Journal of Environmental Management, 82, 173-188.
- Lorenzo, D.K. ve Arendt, J. S. (2005). *Evaluating Process Safety in the Chemical Industry*, New York: Center for Chemical Process Safety, 4

- Mannan S. (2005). *Lees' loss prevention in process industries hazard identification, assessment and control*. Volume 2, (Third Edition). Oxford:Elsevier, 17/6
- Mannan S. (2014). *Lees' process safety essentials hazard identification, assessment and control*. (First Edition). Oxford:Elsevier, 258
- Moore, G.S. (2007). *Living with the earth: concepts in environmental health science*. (Third Edition), Boca Raton: CRC Pres, 499
- Musabeyli E. N. (2004). *Tasarım Hata Türü ve Etkileri Analizinin Etkinliği için Bir Model ve Uygulama*. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 15(3), 17-26.
- Musabeyli, N. (1999). *Ürünün önemli kalite özelliklerinin belirlenmesinde tasarım hata türü ve etkileri analizi ile kalite evinin birlikte kullanılması*. Doktora Tezi, Osmangazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 3
- Nasir, D., McCabe, B. ve Hartono, L., (2003). *Evaluating risk in construction Schedule model (ERIC-S): Construction Schedule Risk Model*, ASCE Journal of Construction Engineering and Management, 129, 518-527.
- Oklahoma Institute of Disaster and Emergency Medicine. (2010). *Blast injuries, true weapons of mass destruction*, Oklahoma: Oklahoma Institute of Disaster and Emergency Medicine, 8
- Onelcin, P. Mutlu, M.M, Alver, Y. (2013). *Evacuation plan of an industrial zone: Case study of a chemical accident in aliaga, Turkey and the comparison of two different simulation softwares*. Safety Science 60, 123–130
- Öcelan, S. (2014). *Petrokimya tesislerinde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili risk faktörleri ve risk değerlendirmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 5.
- Özfırat, P.M. (2014). *Bulanık önceliklendirme metodu ve hata türü ve etkileri analizini birleştiren yeni bir risk analizi yöntemi*. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 29(4), 755-768
- Özkan, İ.A. (2006). *Tornalamada Kesme Kuvvetlerinin ve Takım Ucu Sıcaklığının Bulanık Mantık ve Yapay Sinir Ağı Teknikleriyle Tahmin Edilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 4, 15-20
- Özkılıç, Ö. (2005). *İş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemleri ve risk değerlendirme metodolojileri*, Ankara:Ajans-Türk Basın ve Basım A.Ş., 36
- Özkılıç, Ö. (2007). *İş Sağlığı, Güvenliği ve Çevresel Etki Değerlendirmesi*. İstanbul: MESS Yayınları, 69.
- Öztas, S. (2007). *Risklerin analizi ve değerlendirilmesine farklı bir bakış*. Maden işletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sempozyumunda sunuldu, Adana

- Öztürk T. (2008). *Hata türü ve etkileri analizinde bulanık mantık kullanarak bir kamu hastanesinin satın alma sürecinin iyileştirilmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 77
- Pillay, A., Wang, J. (2003). *Modified failure mode and effects analysis using approximate reasoning*. Reliability Engineering and System Safety, 79, 69–85
- Reid, G.E. (1992). *Risks assesment*. London UK:McGraw Hill International, 32
- Sabuncu, Hilmi. (2005). *Endüstride risk değerlendirmesi yöntemleri ve risk analizi*, İstanbul: İSGİAD Yayını, 6.
- Sandia National Laboratories. (2004). *Guidance on risk analysis and safety implications of a large liquefied natural gas (LNG) spill over water*, SAND2014-6258 California: Sandia National Laboratories, 25-33
- Sayan, H. (2013). *Yanıcı gazların oluşturduğu patlayıcı ortamların tehlikelerine karşı alınacak iş sağlığı ve güvenliği önlemleri (Bu ortamların sınıflandırılması)*. Ankara: Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı İş Müfettiş Yardımcılığı Etüdü, 8
- Sırmakaya, E. (2005). *Veri madenciliğinde bulanık mantık uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 25
- Slovic, P. (1987). *Perception of risk*. Science, 236, 280-285
- Slovic, P. (1999). *Trust, emotion, sex, politics and sicience: surveying the risk assesment battlefield*. Risk Analysis. Risk Analysis, 19(4), 689-701
- Sonnemann, G., Castells, F., ve Schuhmacher, M. (2004). *Integrated Life-Cycle and risk assessment for industrial processes environmental risk*. (First Edition). New York:Lewis Publishers, 19
- Söylemez, Cenk. (2006). *Hata türü ve etkileri analizi iş güvenliği uygulaması*. Yüksek Lisans Tezi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 70
- Stamatis, D. H. (2003). *Failure mode and effects analysis – FMEA from theory to execution*, Wisconsin:ASQC Quality Pres,28-34
- Starr, C. (1969). *Social benefit versus technological risk*. Science, 165, 1232-1238
- Şen, Z. (2004). *Mühendislikte bulanık (fuzzy) mantık ile modelleme prensipleri*, İstanbul: Su Vakfı Yayınları, 191
- Şentürk, S. (2006). *Deney planlamasında bulanık mantık yaklaşımı*. Doktora Tezi, Anadolu Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 17- 25
- Teoh P.C. ve Case K. (2004). *Failure modes and effects analysis through knowledge modelling*. Journal of Materials Processing Technology, 153(154), 253-260

- Teoh, P.C. ve Case, K. (2004). *Failure modes and effects analysis through knowledge modelling*. Journal of Materials Processing Technology, 153(154), 253-260
- Terzioğlu, L. (2007). *Industrial explosions modelling; special case an LPG explosion*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-115
- Tiryaki A. E. ve Kazan R. (2007). *Bulaşık Makinesinin Bulanık Mantık ile Modellenmesi*, Mühendis ve Makine, 48(565), 3-8.
- Tomas, K. (2006). *Asetilen üretimi yapan tesislerde kazaya sebep olabilecek faktörlerin belirlenmesi ve çevresel etkilerinin incelenmesi*. Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-96
- Topuz, E. (2009). *Endüstriyel tehlikeli maddeler için çevresel risk değerlendirme yaklaşımı*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 11-12
- Türk Standartları Enstitüsü. (2006). *Sistem güvenilirliği için analiz teknikleri- Başarısızlık modu ve etkilerin analizi için işlem*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 1-42
- Türk Standartları Enstitüsü. (2009). *Patlayıcı ortamlar- Bölüm 10-1: Tehlikeli bölgelerin sınıflandırılması-Patlayıcı gaz atmosferler TS-EN 60079-10-1:2009* Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 15,20-21
- Türk Standartları Enstitüsü. (2010). *Güvenlikle ilgili elektrikli veya elektronik veya programlanabilir elektronik sistemlerde fonksiyonel güvenlik - bölüm 5: güvenlik bütünlüğü seviyelerinin belirlenmesi için örnek metotlar*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 36
- Türk Standartları Enstitüsü. (2010). *TS EN 31010 Risk yönetimi risk değerlendirme teknikleri-Risk management risk assessment techniques*. Ankara: Türk Standartları Enstitüsü, 12-13
- United States Environmental Protection Agency. (1999). *Risk management program guidance for offsite consequence analysis*. US, March 2009 (No: EPA 550B99009) Appendix A
- Wang, Y.M., Chin, K.S., Poon, G. ve Yang, J. (2009). *Risk evaluation in failure mode and effect analysis using fuzzy weighted geometric mean*, Expert System With Applications, 36(1), 13
- Wells, G. (1996). *Hazard identification and risk assesment*. Rugby U.K: Institution of Chemical Engineers, 1
- Wessberg N., Molarius R., Seppala, J., Koskela, S., ve Pennanen J. (2007). *Environmental risk analysis for accidental emissions*. Journal of Chemical Health & Safety, 24-31.
- Wilson, R. (1979). *Analyzing the daily risks of life*. Technology Review, 81(4), 41-46

- Xu, K., Tang, L.C., Xie, M., Ho, S.L., ve Zhu, M.L. (2002). *Fuzzy assessment of FMEA for engine systems*. Reliability Engineering and System Safety, 75, 17-29
- Yaws, C.L. (1995). *Chemical properties handbook: physical, thermodynamic, environmental, transport, safety, and health related properties for organic and inorganic chemicals*. New York: McGraw-Hill, 1-795
- Yılmaz, A. (1997). *Hata Türü ve Etkileri Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, 1-60
- Yılmaz, B. S. (2000). *Hata Türü Ve Etki Analizi*. Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2, 133-150
- Yılmaz, B.S. (2000), *Hata Türü Ve Etki Analizi*, Dokuz Eylül Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 2(4), 2000
- Yılmaz, S. (2007). *Bulanık Mantık ve Mühendislik Uygulamaları*. Kocaeli:Kocaeli Üniversitesi Yayınları, 54-67
- Zadeh, L.A. (1965). *Fuzzy sets*. Information and Control 8, 338–353
- Zadeh, L. A (1998). *Fuzzy Logic*, Computer, 21(4) 83- 93
- Zadeh, L.A. (2008). *Is there a need for fuzzy logic?* Information Sciences, 178, 2751–2779

EKLER

EK-1. HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
1	Nitroselüloz Atölyesi-Asit Hazırlama	Atık asit ve su kanallarında çökme	Yaralanma, çökme	7	Asit erezyonu	3		7	147	4,82	Artık asit ve su drenaj kanalları güvenli bir şekilde çalışır hale getirilmelidir.
2	Nitroselüloz Atölyesi-Asit Hazırlama	Yangına müdahale edilmesinde geç kalınması	Yaralanma, ölüm	7	Yangın söndürme ekipmanlarının niceliğinin ve niteliğinin yetersiz olması, eğitim eksikliği	2	Yangın söndürme tüpleri, yangın alarm sistemi	7	98	4,56	Yangın algılama ve söndürme ekipmanlarının niceliği ve niteliği olası yangın senaryolarına göre belirlenmeli, uygun yerlere konulmalı ve bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.
3	Nitroselüloz Atölyesi-Asit Hazırlama	Gözlük, iş elbisesi, solunum maskesi ve eldiven kullanılmaması	Kimyasal maruziyet, meslek hastalığı	5	Güvenlik ikliminin oluşturulmaması, Eğitim, denetim eksikliği	6	Saha denetimleri, KKD eğitimi	3	90	4,02	KKD kullanımı konusunda eğitim verilmeli, etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
4	Nitroselüloz Atölyesi-Asit Hazırlama	Asit hatlarında tıkanma	Asit sıçraması, yaralanma	5	Boru ve tanklarda oluşan sülfat birikintisi	4	Tam yüz maskesi, asite dayanıklı önlük ve eldiven	4	80	3,90	Tankta ve asit borularında oluşan sülfat birikintisi düzenli aralıklarla temizlenmelidir. Göz ve vücut duşu sistemi çalışanların en kısa sürede ulaşabilecekleri yerlere konulmalı ve kolayca açılabilir özellikte olmalıdır.
5	Nitroselüloz Atölyesi-Asit Hazırlama	Artık asit ve ıslah asit kazanlarından asit taşması	Asit dumanı oluşumu, Solunum yollarında tahribat	5	Eğitim ve denetim eksikliği, stres ve iş yoğunluğu	4	Operatör kontrolü	3	60	3,48	Seviye sensörü bulunmayan kazan ve tanklara seviye sensörü konulmalıdır.
6	Nitroselüloz Atölyesi-Asit Hazırlama	Flanş, vana, pompa v.b tesisatta meydana gelen sızdırmazlık problemi	Ciltte yanık, yaralanma	5	Sızdırmazlık elemanlarının yapısal deformasyonu	4	Tam yüz maskesi, asite dayanıklı önlük ve eldiven, göz ve vücut duşu	2	40	3,04	Flanş, vana, pompa v.b tesisatta önleyici bakım faaliyetleri uygulanmalı, conta ve salmastra gibi sızdırmazlık elemanları arıza yaptıktan sonra değil, arıza yapmadan değiştirilmeli, RCM ve RBI prosedürleri uygulanmalıdır.
7	Nitroselüloz Atölyesi-Asit Hazırlama	Asit, su ve buhar hatlarında korozyon	Ciltte yanık, yaralanma	5	Ortamdaki asit dumanları	4	Tam yüz maskesi, asite dayanıklı önlük ve eldiven	2	40	3,04	Korozyona neden olabilecek özellikle asit dumanları oluşumu engellenmelidir. Korozyona karşı aktif tedbirler alınmalı, rutin kontroller yapılmalıdır.
8	Nitroselüloz Atölyesi-Asit Hazırlama	Görevli olmayan personel bulunması	Yaralanma	5	Eğitim ve denetim eksikliği	4	Uyarı işaretleri	2	40	3,04	Görevli olmayan personelin tehlikeli bölümlerde bulunmasına önlemeye yönelik etkin bir denetim ve gözetim mekanizması oluşturulmalıdır.
9	Nitroselüloz Atölyesi-Asit Hazırlama	Islak zemin	Kayma, düşme	5	Yıkama amaçlı su kullanılması	2		3	30	2,90	Yıkama sularının zeminde birikmesi önlenmelidir.

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
1	Nitroselüloz Atölyesi-Hallaç	Toz depolama alanının boşaltılma periyodunda gecikme	Yangın	8	Organizasyonel düzenleme yetersizliği, iş yoğunluğu, eğitim ve denetim eksikliği	4	Operatör Kontrolü	4	128	5,18	Depolama alanında 1 haftadan uzun süreli depolamanın önlenmesi için organizasyonel düzenleme yapılmalıdır. Depo yakınında KKT bulundurulmalıdır.
2	Nitroselüloz Atölyesi-Hallaç	Ekipman topraklamasında irtibatsızlık	Yangın ve patlama	7	Kontrollerin düzenli olarak yapılmaması	3	Ekipman topraklaması, Topraklama ölçümleri	6	126	4,66	Topraklanması gereken ilgili ekipmanlar işe başlamadan önce gözle kontrol edilmeli, olası arızaların tespiti için topraklama ölçüm periyodu arttırılmalıdır.
3	Nitroselüloz Atölyesi-Hallaç	Toz toplama sistemi arızası	Meslek hastalığı(Bisinozis, Akut astım v.b)	6	Elektirksel yada mekanik arıza	3	Toz toplama sistemi, KKD	6	108	4,08	Toz toplama sisteminin etkinliği arttırılmalı, sistemin sürekliliğinin sağlanması için periyodik bakım ve kontrol yapılmalı, ortamda düzenli aralıklarla toz
4	Nitroselüloz Atölyesi-Hallaç	Toz toplama sistemi arızası	Yangın ve patlama	8	Toz toplama sisteminin izolasyonunun yetersizliği, kaçakların meydana gelmesi	2	Toz toplama sistemi, Sprinkler sistemi	6	96	4,59	Özellikle zeminde ve ekipmanlar üzerinde olmak üzere toz birikmesinin önlenmesi amacıyla günlük temizlik yapılmalı, tutuşma kaynağı olabilecek etkilere önlenmelidir.
5	Nitroselüloz Atölyesi-Hallaç	Gözlük, iş elbisesi, solunum maskesi ve eldiven kullanılmaması	Kimyasal maruziyet, meslek hastalığı	5	Güvenlik ikliminin oluşturulmaması, Eğitim, denetim eksikliği	6	Saha denetimleri, KKD eğitimi	3	90	4,02	KKD kullanımı konusunda eğitim verilmeli, etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
6	Nitroselüloz Atölyesi-Hallaç	Enerji kesilmeden bakım yapılması, bakım devam ederken enerjinin kontrolsüz olarak verilmesi	Yaralanma, uzuv kaybı	7	Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve stresi	3		4	84	4,46	Etiketleme-kilitleme prosedürü oluşturulmalı ve bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.
7	Nitroselüloz Atölyesi-Hallaç	Yangına müdahale edilmesinde geç kalınması	Yaralanma, ölüm	7	Yangın söndürme ekipmanlarının niceliğinin ve niteliğinin yetersiz olması, eğitim eksikliği	2	Yangın söndürme tüpleri ve dolapları, Sprinkler sistemi, yangın alarma sistemi	6	84	4,22	Sprinkler sistemi periyodik olarak kontrol edilmelidir.
8	Nitroselüloz Atölyesi-Hallaç	İstif yüksekliğinin uygunsuzluğu	Yaralanma	6	Eğitim, Denetim eksikliği	4		3	72	3,88	Balyalar üst üste en fazla 5 sıra konulmalıdır.
9	Nitroselüloz Atölyesi-Hallaç	Görevli olmayan personel bulunması	Yaralanma	5	Eğitim ve denetim eksikliği	3	Uyarı işaretleri	4	60	3,48	Görevli olmayan personelin tehlikeli bölümlerde bulunmasına önlemeye yönelik etkin bir denetim ve gözetim mekanizması oluşturulmalıdır.
10	Nitroselüloz Atölyesi-Hallaç	Gürültü	İşitme kaybı	6	Kulak koruyucu kullanılmaması, eğitim, denetim eksikliği	3	Kulak koruyucu	3	54	3,74	KKD kullanımı konusunda eğitim verilmeli, etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
11	Nitroselüloz Atölyesi-Hallaç	Balya tellerinin el ile açılması	Yaralanma	4	Kesilme ve mekanik etkilere dayanıklı eldiven kullanılmaması	4	Standart eldiven kullanımı	3	48	3,48	Kesilme ve mekanik etkilere dayanıklı eldiven kullanımı sağlanmalıdır.
12	Nitroselüloz Atölyesi-Hallaç	Yıldırım	Yaralanma,ölüm	6	Mevcut paratoner sisteminde arıza ihtimali	2	Paratoner mevcut, her yıl paratoner kontrolü	2	24	3,31	

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
1	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Santrifüj sürüklenme suyu beslemesi flowmetresinin hatalı değer üretmesi	Yangın, patlama	8	Elektriksel yada mekanik arıza	3		8	192	5,43	Mevcut flowmetrenin periyodik bakımı, kontrolü ve kalibrasyonu yapılmalıdır. İkinci bir flowmetre ilave edilmelidir.
2	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Santrifüj sürgü motorunun durması durumunda beslemeyi kesen devrenin çalışmaması	Yangın, patlama	8	Elektriksel arıza	3		8	192	5,43	İkinci bir devre kesici ilave edilmelidir.
3	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Santrifüjde sarsıntı meydana geldiğinde beslemeyi kesen devrenin çalışmaması	Yangın, patlama	8	Elektriksel arıza	3		8	192	5,43	İkinci bir devre kesici ilave edilmelidir.
4	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, elektrik motorları v.b gibi sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde tehlikeli miktarlarda nitroselüloz birikmesi	Yangın	7	Bağlantı noktalarından, pompalardan kaçak, eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve stresi	5		5	175	5,50	Biriken nitroselüloz her iş bitiminde ve haftada bir kere temizlenmeli ve bu işlem kayıt altına alınmalıdır.
5	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Ön nitratör seviye sensörünün hatalı değer üretmesi	Ön nitratörün taşması, Yangın, Solunum yolları tahribatı, asit sıçraması	7	Elektriksel yada mekanik arıza	3		8	168	5,17	Mevcut seviye sensörünün periyodik bakımı, kontrolü ve kalibrasyonu yapılmalıdır. İkinci bir seviye sensörü ilave edilmelidir.
6	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Son nitratör seviye sensörünün hatalı değer üretmesi	Son nitratörün taşması, Yangın, Solunum yolları tahribatı, asit sıçraması	7	Elektriksel yada mekanik arıza	3		8	168	5,17	Mevcut seviye sensörünün periyodik bakımı kontrolü ve kalibrasyonu yapılmalıdır. İkinci bir seviye sensörü ilave edilmelidir.
7	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Santrifüj tamburu ile sepet arasına nitroselüloz birikmesi	Yangın, Patlama	8	Tasarım özelliği	7		3	168	5,17	Özellikle elektrikli ekipmanlar olmak üzere tüm sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde oluşan nitroselülozlar düzenli aralıklarla temizlenmeli ve her iş başlangıcında kontrol edilmelidir.
8	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Toz toplama sistemi arızası	Yangın ve patlama	8	Ortamdaki tozların asit dumanlarıyla reaksiyona girmesi, toz toplama sisteminin yetersizliği, kaçakların meydana gelmesi	3	Toz toplama sistemi	6	144	5,02	Özellikle zeminde ve ekipmanlar üzerinde olmak üzere toz birikmesinin önlenmesi amacıyla periyodik temizlik yapılmalıdır.

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
9	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Ekipman topraklamasında irtibatsızlık	Yangın ve patlama	7	Kontrollerin düzenli olarak yapılmaması, mekanik etkiler	3	Ekipman topraklaması, Topraklama ölçümleri	6	126	4,66	Topraklanması gereken ilgili ekipmanlar işe başlamadan önce gözle kontrol edilmeli, olası arızaların tespiti için topraklama ölçüm periyodu arttırılmalıdır.
10	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Yangına müdahale edilmesinde geç kalınması	Yaralanma, ölüm	7	Yangın söndürme ekipmanlarının niceliğinin ve niteliğinin yetersiz olması, eğitim eksikliği	3	Yangın söndürme tüpleri, yangın alarm sistemi	6	126	4,66	Yangın algılama ve söndürme ekipmanlarının niceliği ve niteliği olası yangın senaryolarına göre belirlenmeli, uygun yerlere konulmalı ve bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.
11	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Nitratörler ile platform arasındaki açıklığın tahta ile kapatılması	Kayma, düşme	5		4		6	120	4,44	Açıklıklar tahta yerine korozyona dayanıklı metal ile kapatılmalıdır.
12	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Bantlı terazinin pamuk debisini hatalı beslemesi	Yangın	7	Bantlı terazi kalibrasyon hatası	4		4	112	4,82	Bantlı terazi kalibrasyonu periyodik aralıklarla yapılmalıdır.
13	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	İş bitiminde bantlı terazinin içinde pamuk kalması	Yangın	7	Eğitim, denetim eksikliği	4		4	112	4,82	İş bitiminde kontroller yapılmalı ve kayıt altına alınmalıdır.
14	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Absorber tesisinin nitrasyon tesisi çalıştığı devreye girmemesi	Asit dumanı oluşumu, Solunum yollarında tahribat, boğulma, akciğer ödemi	6	Eğitim ve denetim eksikliği	3	Operatör kontrolü, Çalışanların inisiyatifine bağlı iletişim kurulması	6	108	4,08	Nitrasyon tesisi kontrol panosuna absorber sisteminin çalıştığını gösteren görsel aygıt konulmalı yada nitrasyon tesisi ile interlocklanmalıdır.
15	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Hat tıkanıklarına görevli olmayan personelin müdahale etmesi	Ciltte yanık, solunum yollarında tahribat	6	Hatlardaki nitroselülozun sirkülasyonunda meydana gelen arıza	3	Gözetleme camı, Akışmetreler	6	108	4,08	Hatlarda meydana gelen tıkanıklara nasıl ve kimlerin müdahale edeceği tanımlanarak bu konularda görevli personele eğitim verilmelidir.
16	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Toz toplama sistemi arızası	Meslek hastalığı(Bisinozis, Akut astım v.b)	6	Toz toplama sisteminin yetersizliği, kaçakların meydana gelmesi	3	Toz toplama sistemi, KKD	6	108	4,08	Toz toplama sisteminin etkinliği arttırılmalı, sistemin sürekliliğinin sağlanması için periyodik bakım ve kontrol yapılmalı, ortamda toz ölçümü yapılmalıdır.
17	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Enerji kesilmeden bakım yapılması, bakım devam ederken enerjinin kontrolsüz olarak verilmesi	Yaralanma, uzuv kaybı	6	Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve stresi	3		6	108	4,08	Etiketleme-kilitleme prosedürü oluşturulmalı ve bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
18	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Ön nitratör sürgülü kapağın kapanmaması	Yangın, bant tahribatı, asit dumanı oluşumu	7	Elektriksel yada mekanik arıza	3	Operatör Kontrolü	5	105	4,60	Pamuk beslemesi uzun süreli kesilecekse ön nitratör sürgülü kapağın kapandığı kontrol edilmelidir.
19	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Nitroselüloz kalıntısı içeren iş parçaları	Yangın, yaralanma	7	Bakım-onarım gereksinimi	5	Operatör kontrolü	3	105	4,60	Üzerinde kaynak, testere ile kesme vs. gibi tamirat işlemleri yapılmak üzere, bakım onarıma gönderilecek borular vs. içinde ve üzerinde nitroselüloz artıkları kalmadığından emin olunmalıdır.
20	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Gözlük, iş elbisesi, solunum maskesi ve eldiven kullanılmaması	Kimyasal maruziyet, Meslek hastalığı	5	Güvenlik ikliminin oluşturulmaması, Eğitim, denetim eksikliği	6	Saha denetimleri, KKD eğitimi	3	90	4,02	KKD kullanımı konusunda eğitim verilmeli, etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
21	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Absorber tesisinin verimli çalışmaması	Asit dumanı oluşumu, Solunum yollarında tahribat, boğulma, akciğer ödemi	6	Absorber tesisinin yetersizliği, kaçakların meydana gelmesi	3	Absorber tesisi	5	90	4,02	Absorber tesisinin etkinliği artırılmalı, sistemin sürekliliğinin sağlanması için periyodik bakım ve kontrol yapılmalı, ortamda düzenli aralıklarla buhar ölçümü yapılmalıdır
22	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Selülozun kısmen nitrolanması	Yangın	7	Absorber tesisinin etkin çalışmaması sebebiyle ortamdaki asit dumanlarının selülozu kısmen nitrolaması	2		6	84	4,22	Absorber tesisi kontrolü periyodik olarak kontrol edilmeli ve dokümanite edilmelidir.
23	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Santrifüj sürüklenme suyu beslemesinin durması	Yangın, patlama	8	Su kesilmesi, su besleme flowmetresinin arızalanması	5	Santrifüj beslemesinin otomatik durması	2	80	4,53	
24	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Santrifüj sürgü motorunun durması	Yangın, Patlama	8	Elektriksel yada mekanik arıza	5	Beslemenin otomatik olarak kesilmesi, Motor yağının düzenli aralıklarla yenilenmesi	2	80	4,53	Beslemeyi otomatik kesen devrenin periyodik bakımı ve kontrolü yapılmalıdır.
25	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Santrifüjde sarsıntı meydana gelmesi	Yangın, Patlama	8	Elektriksel yada mekanik arıza	5	Beslemenin otomatik olarak kesilmesi	2	80	4,53	Beslemeyi otomatik kesen devrenin periyodik bakımı ve kontrolü yapılmalıdır.
26	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Elektik kesilmesi	Asit dumanları oluşumu, yangın, hatlarda tıkanma, boğulma akciğer ödemi	8	Elektrik dağıtım şebekesinde arıza	5	Jeneratör	2	80	4,53	Elektrik kesilmesi durumunda olası tüm riskler acil durum planında ele alınarak gerekli tedbirler alınmalıdır.

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
27	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Kazan kapaklarının kontrolsüz olarak kapanması	Yaralanma, uzuv kaybı	6	Kazan kapaklarının ağır olması	4		3	72	3,88	Ön ve son nitratör ile toplama tankları kapaklarının ani çarpmasını önleyecek piston yapılmalıdır.
28	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Asit besleme flowmetresinin hatalı değer üretmesi	Ön nitratörün taşması, Solunum yollarında tahribat, akciğer ödemi	7	Elektriksel yada mekanik arıza	3	Seviye Sensörü	3	63	4,35	Mevcut flowmetrenin periyodik bakımı, kontrolü ve kalibrasyonu yapılmalıdır. Flowmetrenin ürettiği değer periyodik olarak doğrulanması
29	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Gürültü	İşitme kaybı	6	Kulak koruyucu kullanılmaması, eğitim, denetim eksikliği	3	Kulak koruyucu	3	54	3,74	Çalışanlara işitme testi yaptırılması
30	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Su beslemesinin kesilmesi	Santrifüj besleme suyunun kesilmesi, yangın, patlama	8	Su besleme sisteminde arıza	3	Santrifüj beslemesinin otomatik olarak durması	2	48	4,09	Su kesilmesi durumunda olası tüm riskler acil durum planında ele alınarak gerekli tedbirler alınmalıdır.
31	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Toplama tankı seviye sensörü arızası	Tankın taşması	5	Elektriksel yada mekanik arıza	3	Taşan kısım yedek toplama tankına geçer	3	45	3,33	Mevcut seviye sensörünün periyodik bakımı, kontrolü ve kalibrasyonu yapılmalıdır.
32	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Flanş, vana, pompa v.b tesisatta meydana gelen sızdırmazlık problemi	Ciltte yanık, yaralanma	5	Sızdırmazlık elemanlarının yapısal deformasyonu	4	Tam yüz maskesi, asite dayanıklı önlük ve eldiven	2	40	3,04	Flanş, vana, pompa v.b tesisatta önleyici bakım faaliyetleri uygulanmalı, conta ve salmastra gibi sızdırmazlık elemanları arıza yaptıktan sonra değil, arıza yapmadan değiştirilmeli, RCM ve RBI prosedürleri uygulanmalıdır.
33	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Asit, su ve buhar hatlarında korozyon	Ciltte yanık, yaralanma	5	Ortamdaki asit dumanları	4	Tam yüz maskesi, asite dayanıklı önlük ve eldiven, vücut ve göz duşu	2	40	3,04	Korozyona neden olabilecek özellikle asit dumanları oluşumu engellenmelidir. Korozyona karşı aktif tedbirler alınmalı, rutin kontroller yapılmalıdır. Göz ve vücut duşu sistemi çalışanların en kısa sürede ulaşabilecekleri yerlere konulmalı ve kolayca açılabilir özellikte olmalıdır.
34	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Görevli olmayan personel bulunması	Yaralanma	5	Eğitim ve denetim eksikliği	4	Uyarı işaretleri	2	40	3,04	Görevli olmayan personelin tehlikeli bölümlerde bulunmasına önlemeye yönelik etkin bir denetim ve gözetim mekanizması oluşturulmalıdır.
35	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Islak zemin	Kayma, düşme	5	Yıkama amaçlı su kullanılması	2		4	40	3,04	Yıkama sularının zeminde birikmesinin önlenmesi amacıyla zemin eğiminin düzenlenmesi
36	Nitroselüloz Atölyesi-Nitrasyon	Yıldırım	Yaralanma,ölüm	6	Mevcut paratoner sisteminde arıza ihtimali	2	Paratoner mevcut, her yıl paratoner kontrolü	2	24	3,31	

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
1	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, elektrik motorları v.b gibi sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde tehlikeli miktarlarda nitroselüloz birikmesi	Yangın	8	Bağlantı noktalarından, pompalardan kaçak, eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve stresi	5		4	160	5,34	Özellikle elektrikli ekipmanlar olmak üzere tüm sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde oluşan nitroselülozlar düzenli aralıklarla temizlenmeli ve her iş başlangıcında kontrol edilmelidir.
2	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Yangına müdahale edilmesinde geç kalınması	Yaralanma, ölüm	7	Yangın söndürme ekipmanlarının niceliğinin ve niteliğinin yetersiz olması, eğitim eksikliği	3	Yangın söndürme tüpleri ve dolapları, yangın alarm sistemi	6	126	4,66	Yangın algılama ve söndürme ekipmanlarının niceliği ve niteliği olası yangın senaryolarına göre belirlenmeli, uygun yerlere konulmalı ve bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.
3	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Ekipman topraklamasında irtibatsızlık	Yangın ve patlama	7	Kontrollerin düzenli olarak yapılmaması, mekanik etkiler	3	Ekipman topraklaması, Topraklama ölçümleri	6	126	4,66	Topraklanması gereken ilgili ekipmanlar işe başlamadan önce gözle kontrol edilmeli, topraklama ölçümleri periyodu arttırılmalıdır.
4	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Yürüme platformunun tahta ile oluşturulması	Kayma, düşme	5		4		6	120	4,44	Platform tahta yerine suya ve korozyona dayanıklı metal ile oluşturulmalıdır.
5	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Tehlikeli çalışma iş izin prosedürü kontrollerinin eksik yapılması	Yangın, patlama	8	Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve stresi	3	Operatör kontrolü	5	120	4,98	Bu konuda görevli personele özel eğitim verilmelidir. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
6	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Hat tıkanıklarına görevli olmayan personelin müdahale etmesi	Yangın, yaralanma	6	Hatlardaki nitroselülozun sirkülasyonunda meydana gelen arıza	3		6	108	4,08	Hatlarda meydana gelen tıkanıklara nasıl ve kimlerin müdahale edeceği tanımlanarak bu konularda görevli personele eğitim verilmelidir.
7	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Enerji kesilmeden bakım yapılması, bakım devam ederken enerjinin kontrolsüz olarak verilmesi	Yaralanma, uzuv kaybı	6	Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve stresi	3		6	108	4,08	Etiketleme-kilitleme prosedürü oluşturulmalı ve bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.
8	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Nitroselüloz kalıntısı içeren iş parçaları	Yangın, yaralanma	7	Bakım-onarım gereksinimi	5	Operatör kontrolü	3	105	4,60	Üzerinde kaynak, testere ile kesme vs. gibi tamirat işlemleri yapılmak üzere, bakım onarımına gönderilecek borular vs. içinde ve üzerinde nitroselüloz artıkları kalmadığından emin olunmalıdır.
9	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Kaynak, kesim v.b sıcak iş yapılması	Yangın, yaralanma	7	Bakım-onarım gereksinimi	5	Tehlikeli çalışma iş izin prosedürü	3	105	4,6	Kaynak, kesim v.b gibi sıcak işlem yapılacak bölümler mutlaka nitroselüloz artıklarından temizlenmelidir. Etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
10	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Rifayner elektrik şalterinin açık unutulması	Uzuv kaybı, yaralanma	6	Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve stresi	4		4	96	4,28	Nitroselüloz artıklarının temizlenmesi esnasında, rifaynerin çalışmasını engelleyecek sviç sisteminin yapılması

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
11	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Elek ventillerinin çalışmaması	Taşma	5	Elektriksel yada mekanik arıza	3		6	90	4,02	Mevcut ventillerinin periyodik bakımı, kontrolü ve kalibrasyonu yapılmalıdır.
12	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Elek ventillerinin yırtılması	Nitroselülözün kontrolsüz olarak atık su kanalına kaçması	5	Korozyon, erezyon	3	Operatör kontrolü	6	90	4,02	Elekler periyodik olarak kontrol edilmelidir.
13	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Rifayner salmastra suyunun beslenmemesi	Yangın, patlama	7	Eğitim, denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve stresi	4		3	84	4,46	Nitrosellülözün birikerek, patlama ihtimaline karşı, salmastra suları mutlaka açık bulundurulmalıdır. Etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
14	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Kazan kapaklarının kontrolsüz olarak kapanması	Yaralanma, uzuv kaybı	6	Kazan kapaklarının ağır olması	4		3	72	3,88	Otoklav ve rifayner kapaklarının ani çarpmasını önleyecek piston yapılmalıdır.
15	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Sıcaklık sensörünün çalışmaması	Yüksek sıcaklık, yüksek basınç	6	Elektriksel yada mekanik arıza	3	Tank üzerinde termometre, operatör kontrolü	3	54	3,74	Mevcut sıcaklık sensörünün periyodik bakımı, kontrolü ve kalibrasyonu yapılmalıdır.
16	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Gürültü	İşitme kaybı	6	Kulak koruyucu kullanılmaması, eğitim, denetim eksikliği	3	Kulak koruyucu	3	54	3,74	Çalışanlara işitme testi yaptırılması
17	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Islak zemin	Kayma, düşme	5	Yıkama amaçlı su kullanılması	2		5	50	3,14	Yıkama sularının zeminde birikmesinin önlenmesi gereklidir.
18	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Otoklav üst seviye sensörlerinin çalışmaması	Taşma	5	Elektriksel yada mekanik arıza	3	Operatör kontrolü	3	45	3,33	Otoklav seviye sensörleri çalışır duruma getirilmelidir.
19	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Uzun süre üretim yapılmaması	Buhar hatlarından çalışanlara sıcak buhar teması	5	Korozyon sebebiyle sızdırmazlığın sağlanamaması	2		4	40	3,04	Uzun süre çalışılmayacaksa buhar hatları tahliye noktalarından boşaltılmalıdır.
20	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Görevli olmayan personel bulunması	Yaralanma	5	Eğitim ve denetim eksikliği	4	Uyarı işaretleri	2	40	3,04	Görevli olmayan personelin tehlikeli bölümlerde bulunmasına önlemeye yönelik etkin bir denetim ve gözetim mekanizması oluşturulmalıdır.
21	Nitroselüloz Atölyesi-Otoklav ve Rifayner	Yıldırım	Yaralanma,ölüm	6	Mevcut paratoner sisteminde arıza ihtimali	2	Paratoner mevcut, her yıl paratoner kontrolü	2	24	3,31	

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
1	Nitroselüloz Atölyesi- Sodali Kaynatma ve Süzme	Mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, elektrik motorları v.b gibi sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde tehlikeli miktarlarda nitroselüloz birikmesi	Yangın	8	Bağlantı noktaları ve pompalardan kaçak, eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve stresi	5		4	160	5,34	Özellikle elektrikli ekipmanlar olmak üzere tüm sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde oluşan nitroselülozlar düzenli aralıklarla temizlenmeli ve her iş başlangıcında kontrol edilmelidir.
2	Nitroselüloz Atölyesi- Sodali Kaynatma ve Süzme	Dekovil raylarının üzerinde tehlikeli miktarlarda nitroselüloz artıklarının bulunması	Yangın	7	Taşıma sırasında dökülme, iş yoğunluğu ve stresi	5		5	175	5,5	Görevli personele bu konuda eğitim verilmelidir. Etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
3	Nitroselüloz Atölyesi- Sodali Kaynatma ve Süzme	Dolu varillerin depoya nakliyatı	Ergonomik problemler, kas iskelet sistemi problemi	5	Varillerin ağır olması, depolama işleminin aletsiz yapılması	6	Yükleme rampası kullanımı	5	150	4,97	Varillerin depolanmasında yüklem rampası kullanımından vazgeçilmeli, bunun yerine çalışanların efor harcamak zorunda kalmayacakları ergonomik çözümler geliştirilmelidir.
4	Nitroselüloz Atölyesi- Sodali Kaynatma ve Süzme	Yangına müdahale edilmesinde geç kalınması	Yaralanma, ölüm	7	Yangın söndürme ekipmanlarının niceliğinin ve niteliğinin yetersiz olması, eğitim eksikliği	3	Yangın söndürme tüpleri ve dolapları, yangın alarm sistemi	6	126	4,66	Yangın algılama ve söndürme ekipmanlarının niceliği ve niteliği olası yangın senaryolarına göre belirlenmeli, uygun yerlere konulmalı ve bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.
5	Nitroselüloz Atölyesi- Sodali Kaynatma ve Süzme	Ekipman topraklamasında irtibatsızlık	Yangın ve patlama	7	Kontrollerin düzenli olarak yapılmaması, mekanik etkiler	3	Ekipman topraklaması, Topraklama ölçümleri	6	126	4,66	Topraklanması gereken ilgili ekipmanlar işe başlamadan önce gözle kontrol edilmeli, topraklama ölçümleri periyodu arttırılmalıdır.
6	Nitroselüloz Atölyesi- Sodali Kaynatma ve Süzme	Yürüme platformunun tahta ile oluşturulması	Kayma, düşme	5		4		6	120	4,44	Platfom tahta yerine suya ve korozyona dayanıklı metal ile oluşturulmalıdır.
7	Nitroselüloz Atölyesi- Sodali Kaynatma ve Süzme	Tehlikeli çalışma iş izin prosedürü kontrollerinin eksik yapılması	Yangın, patlama	8	Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve stresi	3	Operatör kontrolü	5	120	4,98	Bu konuda görevli personele özel eğitim verilmelidir. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
8	Nitroselüloz Atölyesi- Sodali Kaynatma ve Süzme	Hat tıkanıklarına görevli olmayan personelin müdahale etmesi	Yangın, yaralanma	6	Hatlardaki nitroselülozun sirkülasyonunda meydana gelen arıza	3		6	108	4,08	Hatlarda meydana gelen tıkanıklara nasıl ve kimlerin müdahale edeceği tanımlanarak bu konularda görevli personele eğitim verilmelidir.

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
9	Nitroselüloz Atölyesi-Sodali Kaynatma ve Süzme	Enerji kesilmeden bakım yapılması, bakım devam ederken enerjinin kontrolsüz olarak verilmesi	Yaralanma, uzuv kaybı	6	Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve stresi	3		6	108	4,08	Etiketleme-kilitleme prosedürü oluşturulmalı ve bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.
10	Nitroselüloz Atölyesi-Sodali Kaynatma ve Süzme	Nitroselüloz kalıntısı içeren iş parçaları	Yangın, yaralanma	7	Bakım-onarım gereksinimi	5	Operatör kontrolü	3	105	4,6	Kaynak, kesim v.b gibi sıcak işlem yapılacak bölümler mutlaka nitroselüloz artıklarından temizlenmeli bu konuda görevli personele özel eğitim verilmelidir. Etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
11	Nitroselüloz Atölyesi-Sodali Kaynatma ve Süzme	Kaynak, kesim v.b sıcak iş yapılması	Yangın, yaralanma	7	Bakım-onarım gereksinimi	5	Tehlikeli çalışma iş izin prosedürü	3	105	4,6	Kaynak, kesim v.b gibi sıcak işlem yapılacak bölümler mutlaka nitroselüloz artıklarından temizlenmelidir. Etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
12	Nitroselüloz Atölyesi-Sodali Kaynatma ve Süzme	Santrijüje yabancı cisim gelmesi	Yangın, patlama	7	Kumlama tezgahının çalıştırılmaması, iş yoğunluğu ve stresi	4	Operatör kontrolü	3	84	4,46	Kumlama tezgahının süzme yapılırken mutlaka çalıştırılması konusunda çalışanlara eğitim verilmeli bu konuda etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır. Mahlut havuzlarına sıva v.b girmesini engellemek için kapakları kapalı tutulmalıdır.
13	Nitroselüloz Atölyesi-Sodali Kaynatma ve Süzme	Pompaların salmastra suyunun yetersiz beslemesi	Yangın, patlama	7	Eğitim, denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve stresi	4		3	84	4,46	Nitrosellülozun birikerek, patlama ihtimaline karşı, salmastra suları mutlaka açık bulundurulmalıdır. Etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
14	Nitroselüloz Atölyesi-Sodali Kaynatma ve Süzme	Mahlut havuzlarında taşma	Çevre kirliliği, yangın, ürün kaybı	7	İş yoğunluğu, iş stresi, eğitim ve denetim eksikliği	4	Operatör kontrolü	3	84	4,46	Mahlut havuzlarına seviye sensörü konulmalı
15	Nitroselüloz Atölyesi-Sodali Kaynatma ve Süzme	Kazan kapaklarının kontrolsüz kapanması	Yaralanma, uzuv kaybı	6	Dikkatsizlik, iş yoğunluğu ve stresi	4		3	72	3,88	Yıkama ve sodalı kaynatma kapaklarının ani çarpmasını önleyecek piston yapılmalıdır.
16	Nitroselüloz Atölyesi-Sodali Kaynatma ve Süzme	Gürültü	İşitme kaybı	6	Kulak koruyucu kullanılmaması, eğitim, denetim eksikliği	3	Kulak koruyucu	3	54	3,74	Çalışanlara işitme testi yaptırılması

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
17	Nitroselüloz Atölyesi-Sodali Kaynatma ve Süzme	Hatta tıkanıklık	Basıncın artması, pompa arızası	7	Transfer teptirme suyunun açılmamasıEğitim ve denetim eksikliği,iş yoğunluğu ve stresi	3		2	42	4,35	Transfer teptirme suyunun açılması işinde konuda görevli personele özel eğitim verilmelidir. Etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
18	Nitroselüloz Atölyesi-Sodali Kaynatma ve Süzme	Uzun süre üretim yapılmaması	Buhar hatlarından çalışanlara sıcak buhar teması	5	Korozyon sebebiyle sızdırmazlığın sağlanamaması	2		4	40	3,04	Uzun süre çalışılmayacaksa buhar hatları tahliye noktalarından boşaltılmalıdır.
19	Nitroselüloz Atölyesi-Sodali Kaynatma ve Süzme	Görevli olmayan personel bulunması	Yaralanma	5	Eğitim ve denetim eksikliği	4	Uyarı işaretleri	2	40	3,04	Görevli olmayan personelin tehlikeli bölümlerde bulunmasına önlemeye yönelik etkin bir denetim ve gözetim mekanizması oluşturulmalıdır.
20	Nitroselüloz Atölyesi-Sodali Kaynatma ve Süzme	Islak zemin	Kayma, düşme	5	Yıkama amaçlı su kullanılması	2		4	40	3,04	Yıkama sularının zeminde birikmesinin önlenmelidir. Zeminde oluşan yosunlanma önlenmelidir. Çalışanlara su geçirmez ayakkabı ve iş elbisesi verilmelidir.
21	Nitroselüloz Atölyesi-Sodali Kaynatma ve Süzme	Boş varillerin yüksek istiflenmesi	Yaralanma	3	Eğitim ve denetim eksikliği	3		4	36	3,33	Varillerin devrilmesini önleyecek istif sisteminin sağlanması
22	Nitroselüloz Atölyesi-Sodali Kaynatma ve Süzme	Yıldırım	Yaralanma,ölüm	6	Mevcut paratoner sisteminde arıza ihtimali	2	Paratoner mevcut, her yıl paratoner kontrolü	2	24	3,31	
23	Nitroselüloz Atölyesi-Sodali Kaynatma ve Süzme	Termal Konfor	İş günü kaybı	4	Atölyenin yeteri kadar ısıtılamaması	3	Soğuğa dayanıklı elbise	2	24	2,9	

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
1	Nitroselüloz Atölyesi- Nitroselüloz Deposu	Depo zemininde tehlikeli miktarlarda kuru nitroselüloz birikmesi	Yangın	8	Nitroselüloz varillerinin taşınması, numune alınması işlemleri	5		5	200	5,92	Transpalet, forklift, zemindeki çatlaklar, kapı pervazları v.b gibi sürtünme ve çarpmaya maruz kalabilecek yerlerde nitroselüloz birikmesine müsaade edilmemelidir. Zemin sürekli temiz bulundurulmalıdır. Etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
2	Nitroselüloz Atölyesi- Nitroselüloz Deposu	Stabilite ve rutubet testlerinin yapılmasında gecikme	Yangın	8	Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve stresi	5		5	200	5,92	Stabilite ve rutubet testlerinin yapılması konusunda Üretim, Kalite Güvence ve Teknik emniyet birimlerince ortaklaşa çalışma yapılarak etkin bir sistem kurulmalıdır. Depolama sıcaklığı kontrol altına alınmalıdır.
3	Nitroselüloz Atölyesi- Nitroselüloz Deposu	Depo yakınında kuru ot veya kolay yanıcı madde bulunması	Yangın	8	Yaz aylarında otların kuruması	5	Kuru otla mücadele edilmesi	4	160	5,34	
4	Nitroselüloz Atölyesi- Nitroselüloz Deposu	Yangına müdahale edilmesinde geç kalınması	Yaralanma, ölüm	8	Yangın söndürme ekipmanlarının niceliğinin ve niteliğinin yetersiz olması, eğitim eksikliği	3	Yangın söndürme tüpleri ve dolapları, yangın alarm sistemi	6	144	5,02	Yangın algılama ve söndürme ekipmanlarının niceliği ve niteliği olası yangın senaryolarına göre belirlenmeli, uygun yerlere konulmalı ve bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.
5	Nitroselüloz Atölyesi- Nitroselüloz Deposu	Kötü depolama şartları(güneş ışınlarına maruziyet, yüksek sıcaklık)	Yangın	8	Termal dekompozisyon	4		4	128	5,18	Depo sıcaklığı minimum +10 maksimum +25C de tutulmalı, nitroselülozlar güneş ışığına maruz kalmamalı, ve 5 yıldan fazla depolanmamalıdır.
6	Nitroselüloz Atölyesi- Nitroselüloz Deposu	Depo çevresinde kaynak, kesim v.b sıcak iş yapılması	Yangın	8	Bakım-onarım gereksinimi	5	Tehlikeli çalışma iş izin prosedürü	3	120	4,98	Depo içinde yada çevresinde kaynak, testere ile kesme vs. gibi tamirat işlemleri yapılması gerektiğinde depo boşaltılmalıdır.
7	Nitroselüloz Atölyesi- Nitroselüloz Deposu	Tehlikeli çalışma iş izin prosedürü kontrollerinin eksik yapılması	Yangın	8	Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve stresi	3	Operatör kontrolü	5	120	4,98	Bu konuda görevli personele özel eğitim verilmelidir. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
8	Nitroselüloz Atölyesi-Nitroselüloz Deposu	Statik yük	Yangın, patlama	8	Sürtünme, çarpma v.b	6	Girişte statik yük giderici levha, antistatik ayakkabı	2	96	4,59	Çalışanlara statik yüklerin tehlikeleri ve oluşumu hakkında eğitim ve bilgi verilmelidir. Zemin antistatik malzeme ile kaplanmalıdır.
9	Nitroselüloz Atölyesi-Nitroselüloz Deposu	Nitroselülozun rutubetini kaybetmesi	Yangın	8	Buharlaştırma, varil kapaklarının ağzının sıkıca kapanmaması	5	Rutubet kontrolleri	2	80	4,53	Nitroselüloz kafilelerinden düzenli aralıklarla numune alınarak rutubet %30 un altına düşürülmemelidir. Nitroselüloz varilleri periyodik aralıklarla ters çevrilmelidir.
10	Nitroselüloz Atölyesi-Nitroselüloz Deposu	Depo zemini pürüzlülüğü	Yangın	8	Zamana ve iş yüküne bağlı olarak zeminin bozulması	3		3	72	4,57	Depo zemini düz, yanmaz, sızdırmaz, herhangi bir cismin çarpmasıyla kıvılcım çıkarmaz malzemeden yapılmalı ve kolay temizlenmelidir.
11	Nitroselüloz Atölyesi-Nitroselüloz	Nitroselülozun stabilitesini kaybetmesi	Yangın	8	Termal dekompozisyon	4	Stabilite testleri	2	64	4,38	Nitroselülozda termal dekompozisyonun önlenmesi için düzenli aralıklarla stabilite testleri yapılmalıdır.
12	Nitroselüloz Atölyesi-Nitroselüloz Deposu	Sigara ve çakmak girişinin önlenememesi	Yangın	8	Eğitim ve denetim eksikliği, ziyaretçilerin farkındalık noksanlığı	2		4	64	4,38	Çalışanlara ve ziyaretçilere açık alevin tehlikeleri konusunda eğitim verilmeli. Etkin denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
13	Nitroselüloz Atölyesi-Nitroselüloz Deposu	Depoda çalışmaya elverişli olmayan kişilerin depoda görevlendirilmesi	Yangın	8	Psikoteknik testlerin yapılmaması	2	İşe alımlarda güvenlik kontrolü yapılması	3	48	4,09	Depolarda çalışacakların seçimi güvenlik kriterleri ve psikoteknik testleri sonuçlarına göre belirlenmelidir. Depoda görevlendirilecek çalışanlara depo kurallarına yönelik özel eğitim verilmelidir.
14	Nitroselüloz Atölyesi-Nitroselüloz Deposu	Görevli olmayan personel bulunması	Yaralanma	5	Eğitim ve denetim eksikliği	4	Uyarı işaretleri	2	40	3,04	Görevli olmayan personelin tehlikeli bölümlerde bulunmasına önlemeye yönelik etkin bir denetim ve gözetim mekanizması oluşturulmalıdır.
15	Nitroselüloz Atölyesi-Nitroselüloz Deposu	Yıldırım	Yangın	8	Mevcut paratoner sisteminde arıza ihtimali	2	Paratoner mevcut	2	32	3,88	

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
1	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Mil yatakları, kazan kapaklarının menteşeleri, v.b gibi sürtünmeye maruz yerler ile elektrik motorları üzerlerinde tehlikeli miktarlarda hamkitle ve nitroselüloz birikmesi	Yangın, patlama	8	Bağlantı noktaları, hammadde yükleme ve boşaltma yerleri, pompalardan kaçak, Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve iş stresi	6		5	240	6,92	Mil yatakları , kazan kapaklarının menteşeleri transpalet gibi sürtünmeye maruz yerler ile elektrik motorları üzerlerinde hamkitle ve nitroselülozun birikerek kurumasına müsaade edilmemelidir. Zemin, elektrik motorları ve sıcak yüzeyler düzenli aralıklarla temizlenmeli ve her iş başlangıcında kontrol edilmelidir.
2	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Laminatör silindilerini tahrik eden bölümlere barut kaçması	Sürtünme, Yangın	8	Uygunsuz ayar, proses gereği	6		5	240	6,92	Laminatör her iş bitiminde barut kaçabilecek bölümleri temizlenmelidir. Temizlik kayıt altına alınmalıdır.
3	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Tanelendirme reaktörü karıştırıcısı boğaz keçesi soğutma suyunun çalıştırılmaması	Yangın, patlama	8	Eğitim ve denetim eksikliği	4		6	192	6	Tanelendirme reaktörü karıştırıcısı boğaz keçesi soğutma suyunun çalıştırılması sağlanmalı bu konuda çalışanlara eğitim verilmeli etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
4	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Ekipman topraklamasında irtibatsızlık	Yangın ve patlama	8	Kontrollerin düzenli olarak yapılmaması, mekanik etkiler	3	Ekipman topraklaması, Topraklama ölçümleri	6	144	5,29	Topraklanması gereken ilgili ekipmanlar işe başlamadan önce gözle kontrol edilmeli, topraklama ölçümleri periyodu arttırılmalıdır.
5	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Yangına müdahale edilmesinde geç kalınması	Yaralanma, ölüm	8	Yangın söndürme ekipmanlarının niceliğinin ve niteliğinin yetersiz olması, eğitim eksikliği	3	Yangın söndürme tüpleri ve dolapları, yangın alarm sistemi	6	144	5,29	Yangın algılama ve söndürme ekipmanlarının niceliği ve niteliği olası yangın senaryolarına göre belirlenmeli, uygun yerlere konulmalı ve bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.
6	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Sodyum sülfat yüklenmesi işlemi	Ergonomik problemler, kas iskelet sistemi hastalıkları	5	Sodyum sülfat poşetlerinin ağır olması	6		4	120	5,26	Sodyum sülfat poşetleri ağırlıklarının azaltılması yada sabit lift kullanılması
7	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Arap sakızı yüklenmesi işlemi	Kas iskelet sistemi hastalıkları	5	Arap sakızı poşetlerinin ağır olması	6		4	120	5,26	Arap sakızı poşetleri ağırlıklarının azaltılması yada sabit lift kullanılması
8	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Tehlikeli çalışma iş izin prosedürü kontrollerinin eksik yapılması	Yangın, patlama	8	Eğitim ve denetim eksikliği	3	Operatör kontrolü	5	120	5	Bu konuda görevli personele özel eğitim verilmelidir. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
9	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Barut kalıntısı içeren iş parçaları	Yangın, yaralanma	7	Bakım-onarım gereksinimi	5	Operatör kontrolü	3	105	4,31	Üzerinde kaynak, testere ile kesme vs. gibi tamirat işlemleri yapılmak üzere, bakım onarımına gönderilecek borular vs. içinde ve üzerinde nitroselüloz ve barut artıkları kalmadığından emin olunmalıdır.

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
10	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Kanallarda barut birikmesi	Yangın ve patlama	7	Proses gereği kaçan barutlar	5		3	105	4,31	Kanalların blirlenen aralıklarda temizlenmesi için prosedür oluşturulmalı çalışanlara bu konuda eğitim verilmelidir.
11	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	DBF kaplama alanı zemin kayganlığı	Kayma, düşme	5	Zemine dökülen DBF nin kayganlık oluşturmaları	4		5	100	5,24	Zeminde kayganlığın ortadan kaldırılması için çözüm geliştirilmesi
12	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Gözlük, iş elbisesi, solunum maskesi ve eldiven kullanılmaması	Kimyasal maruziyet, meslek hastalığı	5	Güvenlik ikliminin oluşturulmaması, Eğitim, denetim eksikliği	6	Saha denetimleri, KKD eğitimi	3	90	4,36	KKD kullanımı konusunda eğitim verilmeli, etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
13	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Kaynak, kesim v.b gibi sıcak iş yapılması	Yangın, yaralanma	8	Bakım-onarım gereksinimi	5	Tehlikeli çalışma iş izin prosedürü	2	80	4,05	Kaynak, kesim v.b gibi sıcak işlem yapılacak bölümler mutlaka nitroselüloz ve barut artıklarından temizlenmelidir. Etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
14	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Flaş, vana, pompa v.b tesisatta meydana gelen sızdırmazlık problemi ile reaktörlerden numune alma noktalarından salınım	Yangın, patlama	9	Sızdırmazlık elemanlarının yapısal deformasyonu ile numune alım noktalarında proses gereği	4	Havalandırma, exproof ekipman kullanımı, LEL dedektörü	2	72	4,63	Flaş, vana, pompa v.b tesisatta önleyici bakım faaliyetleri uygulanmalı, conta ve salmastra gibi sızdırmazlık elemanları arıza yaptıktan sonra değil, arıza yapmadan değiştirilmeli, RCM ve RBI prosedürleri uygulanmalıdır.
15	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Buhar hatlarında korozyon	Ciltte yanık	9	Ortamdaki, etil asetat ve diğer kimyasallar	4	Gözlük, iş elbisesi, gaz maskesi ve eldiven kullanılması	2	72	4,63	Korozyona neden olabilecek özellikle buharların oluşumu engellenmelidir. Korozyona karşı aktif tedbirler alınmalı, rutin kontroller yapılmalıdır.
16	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Etil asetat dekantasyonunun kontrolsüz yapılması	Kimyasal maruziyet, yangın, patlama	9	Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve stresi	4	Operatör kontrolü	2	72	4,63	Dekantasyon işinde görevle personele eğitim verilmeli, etkin bir gözetim ve denetim mekanizması kurulmalıdır.
17	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Kazan kapaklarının kontrolsüz olarak kapanması	Yaralanma, uzuv kaybı	6	Kazan kapaklarının ağır olması	4		3	72	3,41	Tank kapaklarının ani çarpmasını önleyecek piston yapılmalıdır.
18	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Enerji kesilmeden bakım yapılması, bakım devam ederken enerjinin kontrolsüz olarak verilmesi	Yaralanma, uzuv kaybı	6	Eğitim ve denetim eksikliği	3	MCC odasında her ekipman için çekmece sistemi	4	72	3,41	Etiketleme-kilitleme prosedürü oluşturulmalı ve bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
19	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Tanelendirme reaktörlerinde köpük oluşması	Taşma, yangın	8	Etil asetat buharlaşması, operasyon gereği	4	Köpük yükselmesi sensörü ve alarmı, otomatik köpük besleme sistemi, operatör kontrolü	2	64	4,05	Bu gibi durumlarda kişilerin nasıl hareket edeceğinin belirlendiği bir prosedür hazırlanarak bu konuda görevli çalışanlara eğitim verilmelidir.
20	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Chiller sisteminin çalışmaması	Yangın, patlama	8	Chiller sisteminde mekanik yada elektrikselsel arıza	4	Soğutma suyu sıcaklık alarmı, soğutma suyu hattına proses suyu basılması	2	64	4,05	Bu gibi durumlarda kişilerin nasıl hareket edeceğinin belirlendiği bir prosedür hazırlanarak bu konuda görevli çalışanlara eğitim verilmelidir
21	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Sigara ve çakmak girişinin önlenememesi	Yangın, patlama	8	Eğitim ve denetim eksikliği, ziyaretçilerin farkındalık noksanlığı	2		4	64	4,05	Çalışanlara ve ziyaretçilere açık alevin tehlikeleri konusunda eğitim verilmeli. Etkin denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
22	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Barutun eleklerle ve laminatöre 9-1 su-barut oranında gönderilmemesi	Hatlarda tıkanma, yangın, düzgün elenmeme	7	Eğitim ve denetim eksikliği	3	Operatör kontrolü	3	63	4,06	Bu konuda görevli çalışanlara eğitim verilmelidir.
23	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Merdivenlerin ıslak ve kaygan olması	Kayma, düşme	5	Proses gereği zeminin yıkanması ve DBF	4		3	60	3,39	Merdiven basamaklarına kayma önleyici bant ve uyarı işaretleri konulması
24	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Gürültü	İşitme kaybı	6	Kulak koruyucu kullanılmaması, eğitim, denetim eksikliği	3	Kulak koruyucu	3	54	3,14	Çalışanlara işitme testi yaptırılması
25	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Flanş, vana, pompa v.b tesisatta meydana gelen sızdırmazlık problemi ile reaktörlerden numune alma noktalarından salınım	Kimyasal maruziyet, meslek hastalığı	6	Sızdırmazlık elemanlarının yapısal deformasyonu ile numune alım noktalarında proses gereği	4	Gözlük, iş elbisesi, gaz maskesi ve eldiven kullanılması	2	48	3,48	Flanş, vana, pompa v.b tesisatta önleyici bakım faaliyetleri uygulanmalı, conta ve salmastra gibi sızdırmazlık elemanları arıza yaptıktan sonra değil, arıza yapmadan değiştirilmeli, RCM ve RBI prosedürleri uygulanmalıdır.
26	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Tanelendirme reaktörlerinde sıcaklık yükselmesi	Yangın, patlama	8	Buhar besleme hattında arıza	3	Sıcaklık sensörü ve alarmı, Operatör kontrolü	2	48	3,61	Bu gibi durumlarda kişilerin nasıl hareket edeceğinin belirlendiği bir prosedür hazırlanarak bu konuda görevli çalışanlara eğitim verilmelidir.

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
27	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Statik yük	Yangın, patlama	8	Sürtünme, çarpma v.b	6	Girişte statik yük giderici levha, antistatik ayakkabı, zeminin antistatik olması	1	48	2,48	Çalışanlara statik yüklerin tehlikeleri ve oluşumu hakkında eğitim ve bilgi verilmelidir.
28	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Görevli olmayan personel bulunması	Yaralanma	5	Eğitim ve denetim eksikliği	4	Uyarı işaretleri	2	40	3,4	Görevli olmayan personelin tehlikeli bölümlerde bulunmasına önlemeye yönelik etkin bir denetim ve gözetim mekanizması oluşturulmalıdır.
29	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Islak zemin	Kayma, düşme	5	Yıkama amaçlı su kullanılması	4		2	40	3,4	Yıkama sularının zeminde birikmesinin önlenmesi gereklidir.
30	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Laminatör silindirlerine mekanik temas	Yaralanma, uzuv kaybı	6	Merdaneler arasına el sıkışması	3	Acil durdurma butonu, fiziksel bariyer, merdaneleri boydan boya kateden acil durdurma profili	2	36	3,23	
31	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Tankların transfer pompalarında sıcaklık artışı	Yangın	7	Hatta tıkanıklık, pompa impelerinin sürtünmesi, rulman arızası	5	Pompalarda sıcaklık sensörü ve alarmı	1	35	2,5	
32	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Tanelendirme reaktörlerinde basınç yükselmesi	Yangın, patlama	8	Sıcaklığın aşırı yükselmesi	2	Reaktörlere bağlı basınç artışında yırtılarak açılan basınç tahliye vanası	2	32	3,33	
33	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Tanelendirme reaktörü karıştırıcısı boğaz keçesinin ısınması	Yangın, patlama	8	Dönen karıştırıcı motorunda sürtünme	4	Boğaz soğutma suyu	1	32	2,9	
34	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Yıldırım	Yaralanma,ölüm	8	Mevcut paratoner sisteminde arıza ihtimali	2	Yılda bir paratoner kontrolü	2	32	3,33	
35	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Pasta kesicilere ham kitle ve nitroselüloz doldurulması işlemi	Ergonomik problemler, kas iskelet sistemi hastalıkları	5	Operasyon gereği	6	Pnömatik kaldırma düzeneği	1	30	2,5	
36	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	Elektik kesilmesi	Yangın	8	Elektrik dağıtım şebekesinde arıza	3	Jeneratör ve UPS	1	24	2,48	
37	Küresel Barut Atölyesi-Ana Bina	DBF kaplama reaktörlerinde sıcaklık artışı	Yangın, patlama	8	Isıtma sisteminde elektriksel yada mekanik arıza	3	Sıcaklık sensörü ve alarmı, Operatör kontrolü	1	24	2,48	

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
1	Küresel Barut Atölyesi-Etil Asetat Depolama	Tanklara dolum sırasında statik elektrik yükü birikmesi	Yangın, patlama	9	Topraklamanın yapılmaması	5		5	225	7,1	Fabrikaya giriş yapan tanker doluma başlamadan önce yeterince dinlendirilmelidir. Tanker eş potansiyel baraya bağlanmalıdır ve akış hızı 7 m/s altında tutulmalıdır.
2	Küresel Barut Atölyesi-Etil Asetat Depolama	Ekipman topraklamasında irtibatsızlık	Yangın ve patlama	9	Kontrollerin düzenli olarak yapılmaması	3	Ekipman topraklaması, Topraklama ölçümleri	6	162	5,95	Topraklanması gereken ilgili ekipmanlar işe başlamadan önce gözle kontrol edilmeli, topraklama ölçümleri periyodu artırılmalıdır.
3	Küresel Barut Atölyesi-Etil Asetat Depolama	Yangına müdahale edilmesinde geç kalınması	Yaralanma, ölüm	9	Yangın söndürme ekipmanlarının niceliğinin ve niteliğinin yetersiz olması, eğitim eksikliği	3	Yangın söndürme tüpleri ve dolapları, yangın alarm sistemi	6	162	5,95	Yangın algılama ve söndürme ekipmanlarının niceliği ve niteliği olası yangın senaryolarına göre belirlenmeli, uygun yerlere konulmalı ve bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.
4	Küresel Barut Atölyesi-Etil Asetat Depolama	Tehlikeli çalışma iş izin prosedürü kontrollerinin eksik yapılması	Yangın, patlama	9	Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve iş stresi	3	Operatör kontrolü	5	135	5,95	Bu konuda görevli personele özel eğitim verilmelidir. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
5	Küresel Barut Atölyesi-Etil Asetat Depolama	Flaş, vana, pompa v.b tesisatta meydana gelen sızdırmazlık problemi ile dekantasyon sırasında buharlaşma	Yangın, patlama	9	Sızdırmazlık elemanlarının yapısal deformasyonu ile proses gereği dekantasyon yapılması	4	Doğal havalandırma, exproof ekipman kullanımı	2	72	4,63	Flaş, vana, pompa v.b tesisatta önleyici bakım faaliyetleri uygulanmalı, conta ve salmastra gibi sızdırmazlık elemanları arıza yaptıktan sonra değil, arıza yapmadan değiştirilmeli, RCM ve RBI prosedürleri uygulanmalıdır.
6	Küresel Barut Atölyesi-Etil Asetat Depolama	Etil astat dekantasyonunun kontrolsüz yapılması	Kimyasal maruziyet, yangın, patlama	9	Eğitim ve denetim eksikliği	4	Operatör kontrolü	2	72	4,63	LEL metre konulmalı. Dekantasyon işinde görevli personele eğitim verilmeli, etkin bir gözetim ve denetim mekanizması kurulmalıdır.
7	Küresel Barut Atölyesi-Etil Asetat Depolama	Etil asetat buharları oluşumu	Yangın, patlama	9	Azot yastıklama sisteminin çalıştırılmaması	4	Denetim	2	72	4,63	Sistemin çalıştırılması sağlanmalıdır.
8	Küresel Barut Atölyesi-Etil Asetat Depolama	Sigara ve çakmak girişinin önlenememesi	Yangın, patlama	9	Eğitim ve denetim eksikliği, ziyaretçilerin farkındalık noksanlığı	2		4	72	4,63	Çalışanlara ve ziyaretçilere açık alevin tehlikeleri konusunda eğitim verilmeli. Etkin denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
9	Küresel Barut Atölyesi-Etil Asetat Depolama	Statik yük oluşumu	Yangın, patlama	9	Sürtünme, çarpma v.b	6	Girişte statik yük giderici levha, antistatik ayakkabı, zeminin antistatik olması, topraklama maşası	1	54	3,86	Çalışanlara statik yüklerin tehlikeleri ve oluşumu hakkında eğitim ve bilgi verilmelidir.
10	Küresel Barut Atölyesi-Etil Asetat Depolama	Flaş, vana, pompa v.b tesisatta meydana gelen sızdırmazlık problemi ile dekantasyon sırasında buharlaşma	Kimyasal maruziyet, meslek hastalığı	6	Sızdırmazlık elemanlarının yapısal deformasyonu ile proses gereği dekantasyon yapılması	4	Gözlük, iş elbisesi, gaz maskesi ve eldiven kullanılması	2	48	3,48	Flaş, vana, pompa v.b tesisatta önleyici bakım faaliyetleri uygulanmalı, conta ve salmastra gibi sızdırmazlık elemanları arıza yaptıktan sonra değil, arıza yapmadan değiştirilmeli, RCM ve RBI prosedürleri uygulanmalıdır.
11	Küresel Barut Atölyesi-Etil Asetat Depolama	Görevli olmayan personel bulunması	Yaralanma	5	Eğitim ve denetim eksikliği	4	Uyarı işaretleri	2	40	3,4	Görevli olmayan personelin tehlikeli bölümlerde bulunmasına önlemeye yönelik etkin bir denetim ve gözetim mekanizması oluşturulmalıdır.
12	Küresel Barut Atölyesi-Etil Asetat Depolama	Yıldırım	Yaralanma,ölüm	9	Mevcut paratoner sisteminde arıza ihtimali	2	Yılda bir paratoner kontrolü	2	36	3,38	

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
1	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	Mevcut havalandırmanın yetersizliği	Yangın, patlama	9	Havalandırmanın sadece pencereden yapılması	7	Doğal havalandırma	4	252	6,69	Cebri havalandırma sistemi kurulmalıdır.
2	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	Sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde tehlikeli miktarlarda barut birikmesi	Yangın, patlama	8	Yükleme ve boşaltma işlemlerinden kaçak, eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve iş stresi	6		5	240	6,92	Özellikle elektrikli ekipmanlar olmak üzere tüm sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde oluşan barutlar düzenli aralıklarla temizlenmeli ve her iş başlangıcında kontrol edilmelidir.
3	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	DNT ile çalışmalarda KKD kullanılmaması	Kanser riski, kimyasal maruziyet, meslek hastalığı	6	Eğitim ve denetim eksikliği	6		5	180	6,92	DNT ile çalışma yapan çalışanlara KKD kullanımı konusunda eğitim verilmeli, etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
4	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	İzopropil alkolün kontrolsüz olarak ortama yayılması	Yangın, patlama	9	Hammadde olarak kullanılan izopropil alkolün işletme sıcaklığında buharlaşması	9	Exproof ekipman kullanımı, doğal havalandırma	2	162	6,62	Tromellere lokal havalandırma sistemi kurulmalıdır. LEL metre dedektörü ile patlayıcı ortam izlenmelidir.
5	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	Ekipman topraklamasında irtibatsızlık	Yangın ve patlama	8	Kontrollerin düzenli olarak yapılmaması	3	Ekipman topraklaması, Topraklama ölçümleri	6	144	5,29	Topraklanması gereken ilgili ekipmanlar işe başlamadan önce gözle kontrol edilmeli, topraklama ölçümleri periyodu artırılmalıdır.
6	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	Yangına müdahale edilmesinde geç kalınması	Yaralanma, ölüm	8	Yangın söndürme ekipmanlarının niceliğinin ve niteliğinin yetersiz olması,	3	Yangın söndürme tüpleri ve dolapları, yangın alarm sistemi	6	144	5,29	Yangın algılama ve söndürme ekipmanlarının niceliği ve niteliği olası yangın senaryolarına göre belirlenmeli, uygun yerlere konulmalı ve
7	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	Tehlikeli çalışma iş izin prosedürü kontrollerinin eksik yapılması	Yangın, patlama	8	Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve iş stresi	3	Operatör kontrolü	5	120	5	Bu konuda görevli personele özel eğitim verilmelidir. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
8	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	Kanallarda barut birikmesi	Yangın	7	Proses gereği kaçan barutlar	5		3	105	4,31	Kanalların blirlenen aralıklarda temizlenmesi için prosedür oluşturulmalı çalışanlara bu konuda eğitim verilmelidir.
9	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	Gözlük, iş elbisesi, solunum maskesi ve eldiven kullanılmaması	Kimyasal maruziyet, Meslek hastalığı	5	Güvenlik ikliminin oluşturulmaması, Eğitim, denetim eksikliği	6	Saha denetimleri, KKD eğitimi	3	90	4,36	KKD kullanımı konusunda eğitim verilmeli, etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
10	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	Kaynak, kesim v.b gibi sıcak iş yapılması	Yangın, yaralanma	8	Bakım-onarım gereksinimi	5	Tehlikeli çalışma iş izin prosedürü	2	80	4,05	Kaynak, kesim v.b gibi sıcak işlem yapılacak bölümler mutlaka barut artıklarından temizlenmelidir. Etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
11	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	Grafit tozu oluşumu	Yangın, patlama	9	Hammadde olarak kullanılan grafitin proses gereği tozuması	2	Exproof ekipman kullanımı, doğal havalandırma	4	72	4,63	Tromellere lokal havalandırma sistemi kurulmalıdır. LEL metre ile patlayıcı ortam izlenmelidir.
12	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	Enerji kesilmeden bakım yapılması, bakım devam ederken enerjinin kontrolsüz olarak verilmesi	Yaralanma, uzuv kaybı	6	Eğitim ve denetim eksikliği	3		4	72	3,41	Etiketleme-kilitleme prosedürü oluşturulmalı ve bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.
13	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	Sigara ve çakmak girişinin önlenememesi	Yangın, patlama	8	Eğitim ve denetim eksikliği, ziyaretçilerin farkındalık noksanlığı	2		4	64	4,05	Çalışanlara ve ziyaretçilere açık alevin tehlikeleri konusunda eğitim verilmeli. Etkin denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
14	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	Zemine grafit dökülmesi	Kayma, düşme	5	Bina katları arası sızdırmazlık problemi, barut doldurma hunisinden grafit gelmesi	4		3	60	3,39	Zeminde grafit birikimi önlenmelidir.
15	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	İzopropil alkolün kontrolsüz olarak ortama yayılması	Kimyasal maruziyet, meslek hastalığı	6	Hammadde olarak kullanılan izopropil alkolün işletme sıcaklığında buharlaşması	4	Gözlük, iş elbisesi, gaz maskesi ve eldiven kullanılması	2	48	3,48	Tromellere lokal havalandırma sistemi kurularak maruziyet en aza indirilmelidir.
16	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	Statik yük	Yangın, patlama	8	Sürtünme, çarpma v.b	6	Girişte statik yük giderici levha, antistatik ayakkabı, zeminin antistatik olması, topraklama	1	48	3,16	Çalışanlara statik yüklerin tehlikeleri ve oluşumu hakkında eğitim ve bilgi verilmelidir.
17	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	Görevli olmayan personel bulunması	Yaralanma	5	Eğitim ve denetim eksikliği	4	Uyarı işaretleri	2	40	3,4	Görevli olmayan personelin tehlikeli bölümlerde bulunmasına önlemeye yönelik etkin bir denetim ve gözetim mekanizması oluşturulmalıdır.
18	Küresel Barut Atölyesi-Kuru Kaplama	Yıldırım	Yaralanma,ölüm	8	Mevcut paratoner sisteminde arıza ihtimali	2	Yılda bir paratoner kontrolü	2	32	3,33	

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
1	Küresel Barut Atölyesi-Element	Sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde tehlikeli miktarlarda barut birikmesi	Yangın, patlama	8	Yükleme ve boşaltma işlemleri ve taşıma arabalarından dökülme, eğitim ve denetim eksikliği	6		5	240	6,92	Özellikle elektrikli ekipmanlar olmak üzere tüm sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde oluşan barutlar düzenli aralıklarla temizlenmeli ve her iş başlangıcında kontrol edilmelidir.
2	Küresel Barut Atölyesi-Element	Ekipman topraklamasında irtibatsızlık	Yangın ve patlama	8	Kontrollerin düzenli olarak yapılmaması	3	Ekipman topraklaması, Topraklama ölçümleri	6	144	5,29	Topraklanması gereken ilgili ekipmanlar işe başlamadan önce gözle kontrol edilmeli, topraklama ölçümleri periyodu artırılmalıdır.
3	Küresel Barut Atölyesi-Element	Yangına müdahale edilmesinde geç kalınması	Yaralanma, ölüm	8	Yangın söndürme ekipmanlarının niceliğinin ve niteliğinin yetersiz olması, eğitim eksikliği	3	Yangın söndürme tüpleri ve dolapları, yangın alarm sistemi	6	144	5,29	Yangın algılama ve söndürme ekipmanlarının niceliği ve niteliği olası yangın senaryolarına göre belirlenmeli, uygun yerlere konulmalı ve bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.
4	Küresel Barut Atölyesi-Element	Kaynak, kesim v.b gibi sıcak iş yapılması	Yangın, yaralanma	8	Bakım-onarım gereksinimi	5	Tehlikeli çalışma iş izin prosedürü	3	120	5	Kaynak, kesim v.b gibi sıcak işlem yapılacak bölümler mutlaka barut artıklarından temizlenmelidir. Etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
5	Küresel Barut Atölyesi-Element	Tehlikeli çalışma iş izin prosedürü kontrollerinin eksik yapılması	Yangın, patlama	8	Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve iş stresi	3	Operatör kontrolü	5	120	5	Bu konuda görevli personele özel eğitim verilmelidir. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
6	Küresel Barut Atölyesi-Element	Grafit tozu oluşumu	Yangın, patlama	8	Ham madde olarak kullanılan grafitin proses gereği tozuması	2	Exproof ekipman kullanımı, doğal havalandırma	4	64	4,05	Transpalet vb. gibi sürtünmeye maruz yerler ile elektrik motorları üzerlerinde barutun birikmesine müsaade edilmemelidir. Zemin, elektrik motorları ve sıcak yüzeyler sürekli temiz bulundurulmalıdır. Etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
7	Küresel Barut Atölyesi-Element	Sigara ve çakmak girişinin önlenememesi	Yangın, patlama	8	Eğitim ve denetim eksikliği, ziyaretçilerin farkındalık noksanlığı	2		4	64	4,05	Çalışanlara ve ziyaretçilere açık alevin tehlikeleri konusunda eğitim verilmeli. Etkin denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
8	Küresel Barut Atölyesi-Element	Statik yük	Yangın, patlama	8	Sürtünme, çarpma v.b	6	Girişte statik yük giderici levha, antistatik ayakkabı, zeminin antistatik olması, topraklama maşası	1	48	3,16	Çalışanlara statik yüklerin tehlikeleri ve oluşumu hakkında eğitim ve bilgi verilmelidir.
9	Küresel Barut Atölyesi-Element	Yıldırım	Yaralanma,ölüm	8	Mevcut paratoner sisteminde arıza ihtimali	2	Yılda bir paratoner kontrolü	2	32	3,33	

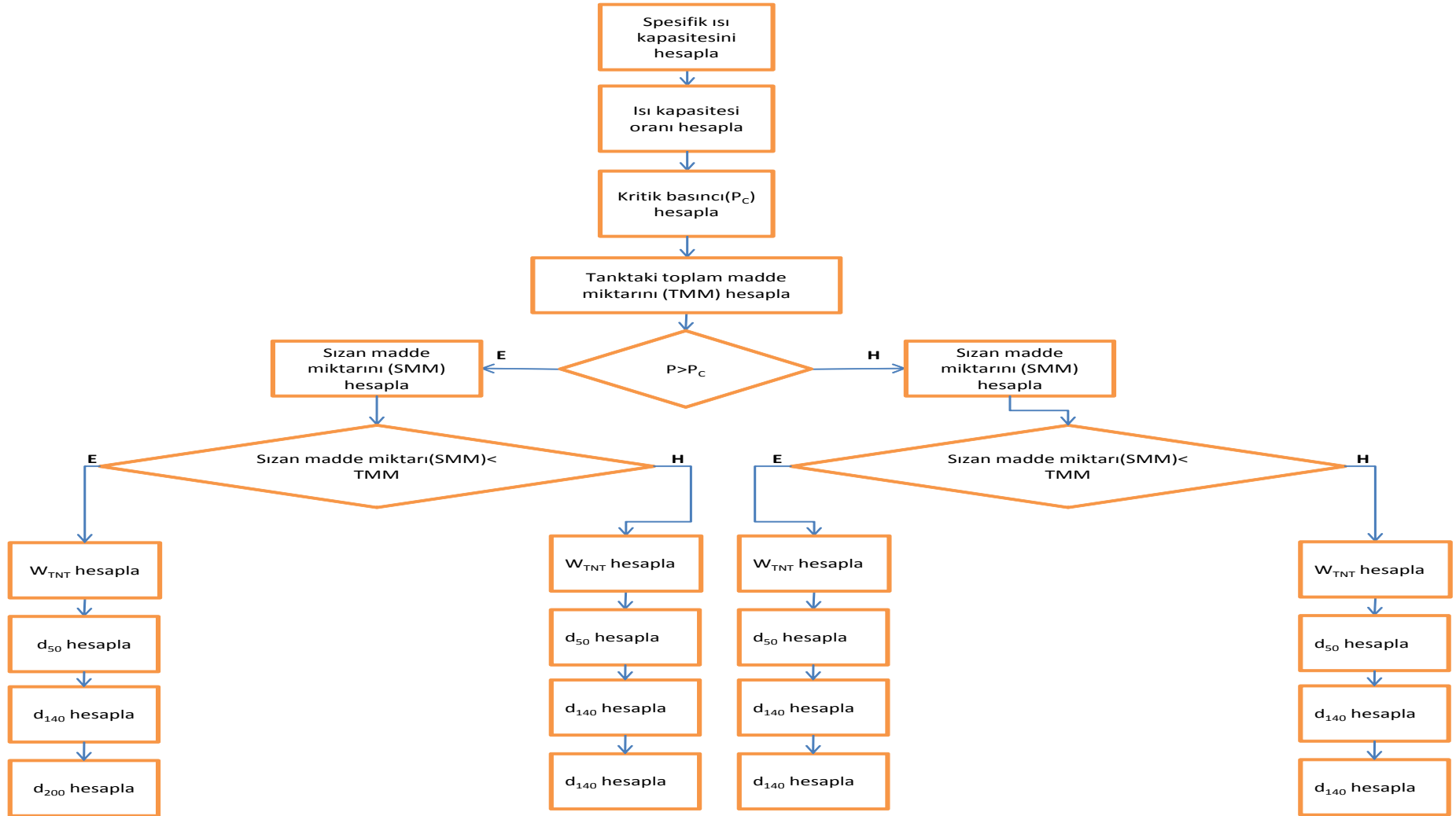
EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
1	Küresel Barut Atölyesi-Barut Deposu	Uzun süre depolanacak barutlarda stabilite testlerinin yapılmasında gecikme	Yangın, patlama	9	Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve iş stresi	6		5	270	7,1	Stabilite testlerinin yapılması konusunda Üretim, Kalite Güvence ve Teknik emniyet birimlerince ortaklaşa çalışma yapılarak etkin bir sistem kurulmalıdır. Depolama sıcaklığı kontrol altına alınmalıdır.
2	Küresel Barut Atölyesi-Barut Deposu	Depo zemininde veya sürtünmeye ve ısınmaya maruz kalan yerlerde tehlikeli miktarlarda barut birikmesi	Yangın, patlama	9	Barut taşıma işlemleri, numune alınması sırasında dökülme, eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve iş stresi	6		5	270	7,1	Transpalet, forklift, zemindeki çatlaklar, kapı pervazları v.b gibi sürtünme ve çarpmaya maruz kalabilecek yerlerde barut birikmesine müsaade edilmemelidir. Zemin sürekli temiz bulundurulmalıdır. Etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
3	Küresel Barut Atölyesi-Barut Deposu	Depo yakınında kuru ot veya kolay yanıcı madde bulundurulması	Yangın, patlama	9	Yaz aylarında otların kuruması	5	Kuru otla mücadele edilmesi	4	180	6,52	
4	Küresel Barut Atölyesi-Barut Deposu	Yangına müdahale edilmesinde geç kalınması	Yangın, patlama	9	Yangın söndürme ekipmanlarının niceliğinin ve niteliğinin yetersiz olması, eğitim eksikliği	3	Yangın söndürme tüpleri ve dolapları, yangın alarm sistemi	6	162	5,95	Yangın algılama ve söndürme ekipmanlarının niceliği ve niteliği olası yangın senaryolarına göre belirlenmeli, uygun yerlere konulmalı ve bu konuda çalışanlara eğitim verilmelidir.
5	Küresel Barut Atölyesi-Barut Deposu	Toprak sütrenin kayması	Blast etkisinin artması, Domino etkisi oluşumu	9	Çevresel şartların(yağmur, rüzgar, kar gibi etkenlerin) toprak sütreleri kaydırarak yüksekliğini ve kalınlığını azaltması	6		3	162	5,95	Sütrelere yüksekliği ve kalınlığı özellikle sonbahar ve kış aylarında olmak üzere periyodik olarak kontrol edilmelidir. Toprak sütrenin yerine betonarme sütre yapılmalıdır.
6	Küresel Barut Atölyesi-Barut Deposu	Kötü depolama şartları (barutların güneş ışınlarına maruz kalması, rutubet, yüksek sıcaklık)	Yangın	9	Termal dekompozisyon	4	Sıcaklık ve havadaki nem miktarının ölçülmesi	4	144	6,17	Depo sıcaklığı minimum +10 maksimum +25C de tutulmalı, barutlar güneş ışığına maruz kalmamalı, ve 5 yıldan fazla depolanmamalıdır.
7	Küresel Barut Atölyesi-Barut Deposu	Depo çevresinde kaynak, kesim v.b sıcak iş yapılması	Yangın, yaralanma	9	Bakım-onarım gereksinimi	5	Tehlikeli çalışma iş izin prosedürü	3	135	5,95	Depo içinde yada çevresinde kaynak, testere ile kesme vs. gibi tamirat işlemleri yapılması gerektiğinde depo boşaltılmalıdır.

EK-1. (devam) HTEA metodu ve bulanık mantık kullanılarak elde edilen çalışma formu

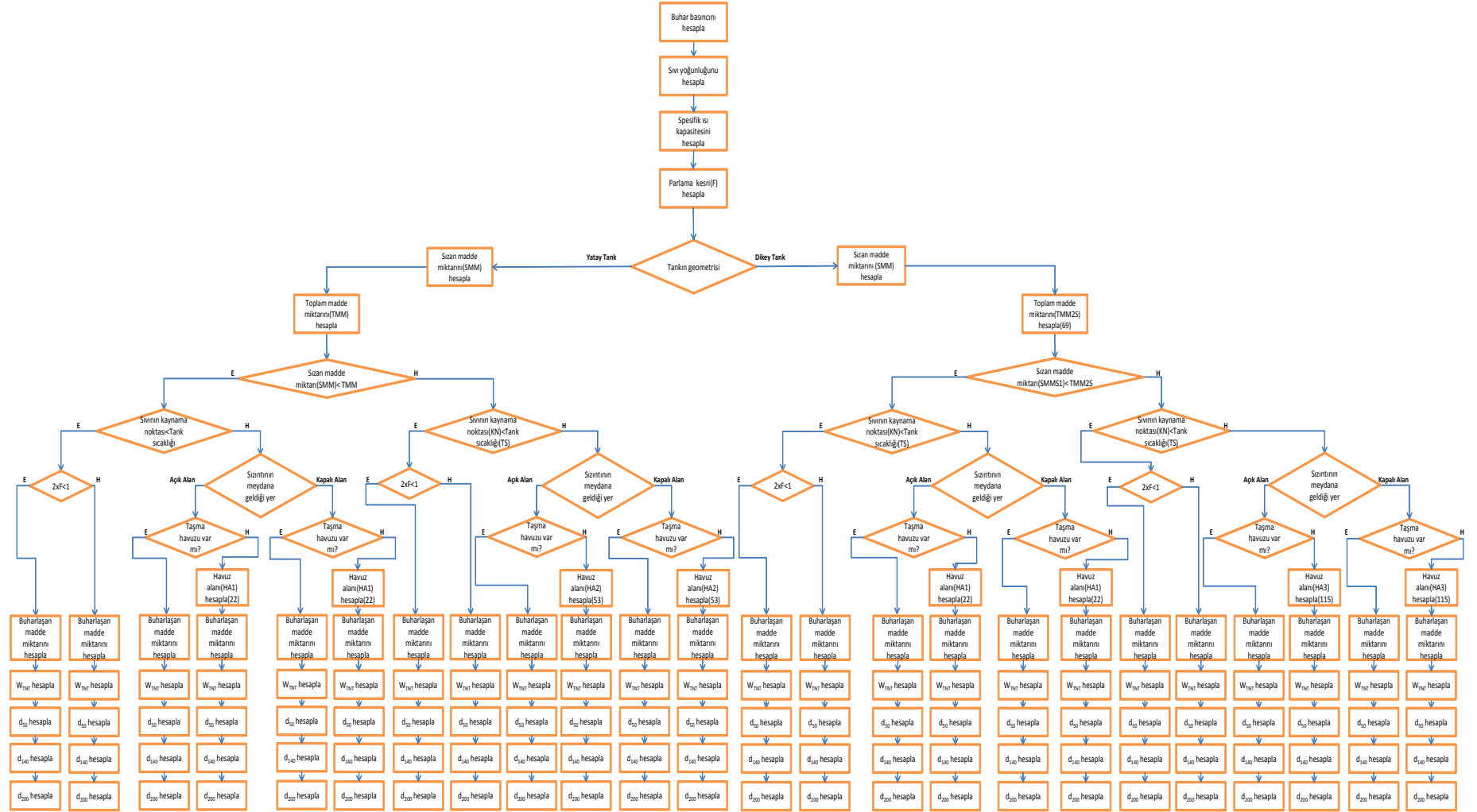
NO	SİSTEM/PARÇA	POTANSİYEL HATA TÜRÜ	HATANIN ETKİLERİ	ŞİDDET	HATANIN NEDENLERİ	OLASILIK	KONTROL ÖNLEMLERİ	T.E	RÖS	B RÖS	ÖNERİLEN FAALİYET
8	Küresel Barut Atölyesi-Barut Deposu	Tehlikeli çalışma iş izin prosedürü kontrollerinin eksik yapılması	Yangın, patlama	9	Eğitim ve denetim eksikliği, iş yoğunluğu ve iş stresi	3	Operatör kontrolü	5	135	5,95	Bu konuda görevli personele özel eğitim verilmelidir. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
9	Küresel Barut Atölyesi-Barut Deposu	Depo zemini pürüzlülüğü	Yangın, patlama	9	Zamana ve iş yüküne bağlı olarak zeminin bozulması	3		3	81	4,52	Depo zemini düz, yanmaz, sızdırmaz, herhangi bir cismin çarpmasıyla kıvılcım çıkarmaz malzemeden yapılmalı ve kolay temizlenmelidir.
10	Küresel Barut Atölyesi-Barut Deposu	Depoda kapasitenin üzerinde barut bulunması	Yangın, patlama	9	Eğitim ve denetim eksikliği	3	Depolarda maksimum kapasite miktarının yazması	3	81	4,52	Çalışanlara bu konuda eğitim verilmeli, etkin bir denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır.
11	Küresel Barut Atölyesi-Barut Deposu	Sigara ve çakmak girişinin önlenememesi	Yangın, patlama	9	Eğitim ve denetim eksikliği, ziyaretçilerin farkındalık noksanlığı	2		4	72	4,63	Çalışanlara ve ziyaretçilere açık alevin tehlikeleri konusunda eğitim verilmeli. Etkin denetim ve gözetim mekanizması kurulmalıdır. İşyeri genelinde güvenlik iklimi oluşturulmalıdır.
12	Küresel Barut Atölyesi-Barut Deposu	Görevli olmayan personel bulunması	Yaralanma	7	Eğitim ve denetim eksikliği	4	Uyarı işaretleri	2	56	3,64	Görevli olmayan personelin tehlikeli bölümlerde bulunmasına önlemeye yönelik etkin bir denetim ve gözetim mekanizması oluşturulmalıdır.
13	Küresel Barut Atölyesi-Barut Deposu	Depoda çalışmaya elverişli olmayan kişilerin depoda görevlendirilmesi	Yangın, patlama	9	Psikoteknik testlerin yapılmaması	2	İşe alımlarda güvenlik kontrolü yapılması	3	54	3,61	Depolarda çalışacakların seçimi güvenlik kriterleri ve psikoteknik testleri sonuçlarına göre belirlenmelidir. Depoda görevlendirilecek çalışanlara depo kurallarına yönelik özel eğitim verilmelidir.
14	Küresel Barut Atölyesi-Barut Deposu	Statik yük	Yangın, patlama	9	Sürtünme, çarpma v.b	6	Girişte statik yük giderici levha, antistatik ayakkabı, zeminin antistatik olması	1	54	3,86	Çalışanlara statik yüklerin tehlikeleri ve oluşumu hakkında eğitim ve bilgi verilmelidir.
15	Küresel Barut Atölyesi-Barut Deposu	Yıldırım	Yangın, patlama	9	Mevcut paratoner sisteminde arıza ihtimali	2	Paratoner mevcut, her yıl paratoner kontrolü	2	36	3,38	

Gaz Sızıntısı Senaryosuna İlişkin Algoritma



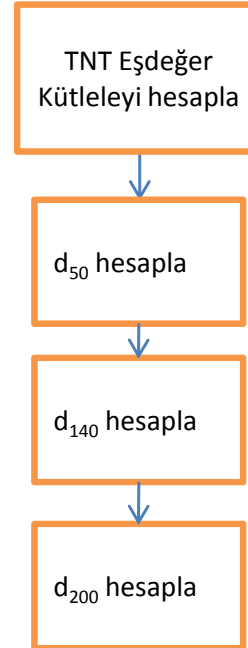
EK-2. (devam) Patlama senaryosu algoritmaları

Sıvı Sızıntısı Senaryosuna İlişkin Algoritma



EK-2. (devam) Patlama senaryosu algoritmaları

Patlayıcı Madde Senaryosuna İlişkin Algortima



ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : AKMAN, Abdurrahman
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : Ankara, 21.10.1979
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (506) 4793048
 e-posta : arakman@gmail.com



Eğitim Derecesi	Okul/Program	Mezuniyetyılı
Yüksek Lisans	Hacettepe/Fen Bilimleri	2005
Lisans	Atatürk/Kimya Mühendisliği	2001
Lise	Mehmet Kemal Tuncel Lisesi	1996

İş Deneyimi, Yıl	Çalıştığı Yer	Görev
2003 – 2010	MKE Barut Fabrikası	Üretim Mühendisi
2010-Halen	T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı	İş Müfettişi

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

1. AKMAN A., Polar Formda Monodispers Partiküllerin Sentezi ve Destek Materyali Olarak Kullanımı, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, 2005
2. AKMAN A., İŞLER M.C., Trafik İş Kazalarının İş Sağlığı ve Güvenliği Mevzuatı Açısından Değerlendirilmesi, International Journal of Engineering Research and Development, Vol.4, No.2, June 2012
3. KORKMAZ, E. İŞLER M.C AKMAN A. Karayolu ile tehlikeli madde taşımacılığında güvenlik önlemleri:manifoldlu tüp demetleri, Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 30(2):86-95
4. AKMAN A., KOÇ U. Makinelerin Hareketli Noktalarına Temas Riskinin Değerlendirilmesi ÇSGB Çalışma Dünyası Dergisi Cilt: 1 Sayı: 1 2013

Hobiler

Model uçak, Multikopter



GAZİ GELECEKTİR..