



**ENDÜSTRİYEL KAZALARIN KÖK NEDENLERİNE GÖRE KURULUŞ
KAZA RİSKİNİN ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (AHP) İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ**

Şehmus ÜNVERDİ

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
KAZALARIN ÇEVRESEL VE TEKNİK ARAŞTIRMASI ANA BİLİM DALI**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

MAYIS 2023

ŞEHMUS ÜNVERDİ tarafından hazırlanan “ENDÜSTRİYEL KAZALARIN KÖK NEDENLERİNE GÖRE KURULUŞ KAZA RİSKİNİN ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (AHP) İLE DEĞERLENDİRİLMESİ” adlı tez çalışması aşağıdaki jüri tarafından OY BİRLİĞİ ile Gazi Üniversitesi Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Ana Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak kabul edilmiştir.

Danışman: Doç. Dr. Saliha ÇETİNYOKUŞ

Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Başkan: Prof. Dr. Ergün ERASLAN

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Yıldırım Beyazıt Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Üye: Doç. Dr. Aylin ADEM

Endüstri Mühendisliği Ana Bilim Dalı, Gazi Üniversitesi

Bu tezin, kapsam ve kalite olarak Yüksek Lisans Tezi olduğunu onaylıyorum.

.....

Tez Savunma Tarihi: 22 / 05 / 2023

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

.....

Prof. Dr. Cevriye GENCER

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

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.

Şehmus ÜNVERDİ

22 / 05 / 2023

ENDÜSTRİYEL KAZALARIN KÖK NEDENLERİNE GÖRE KURULUŞ KAZA
RİSKİNİN ANALİTİK HİYERARŞİ PROSESİ (AHP) İLE
DEĞERLENDİRİLMESİ
(Yüksek Lisans Tezi)

Şehmus ÜNVERDİ

GAZİ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Mayıs 2023

ÖZET

Endüstriyel kazaların önlenmesi ve etkilerinin en aza indirilmesi tüm gelişmiş ve gelişmekte olan ülkelerin olduğu gibi ülkemizin de öncelikli iş sağlığı ve güvenliği konuları arasında yer almaktadır. Bu tez çalışmasında, endüstriyel kazaların kök nedenlerine göre kuruluş kaza riskinin çok kriterli karar verme yöntemlerinden (ÇKKV) olan Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır. İlk aşamada, kök neden kriterlerini belirlemek amacıyla Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) istatistikleri kullanılarak kimya sektöründe 2015-2020 yılları arasında yaşanmış ölümlü ve uzuv kayıplı iş kazası verileri Pareto analizi ile değerlendirilmiştir. Analiz sonucunda, sektörde yaşanan kazaların %80'ini oluşturan ana kriterler belirlenmiştir. Ardından, literatür araştırması ve beyin fırtınası çalışmaları yürütülerek endüstriyel kaza kök nedeni olabilecek nihai ana ve alt kriterler tespit edilmiş ve belirlenen bu kriterler AHP analizi kullanılarak ilgili uzman görüşleri üzerinden ağırlıklandırılmıştır. Ana kriterlerden biri olan insan hataları, %35 önem ile en önemli kriter olarak belirlenmiştir. Bunu %20 önem ile ekipman hataları, %19 önem ile proses hataları izlemiştir. İkinci aşamada, yine AHP analizi ile örnek 3 üst seviyeli endüstriyel kuruluşta, aynı kök neden ana ve alt kriterleri üzerinden saha uygulaması yapılmıştır. Kuruluşlar, endüstriyel kaza riski açısından ayırt edici bir sıralama sergilemiştir (B Kuruluşu= 0,420>, A Kuruluşu= 0,354 >, C Kuruluşu= 0,226). Önerilen metodolojinin, birden çok kriterin karşılaştırılmasını amaçlayan bu tür problemlerde uygun olduğu gösterilmiştir. AHP analizi ile nicel ve nitel değerlendirme kriterleri eş zamanlı olarak modele dâhil edilerek, uzman görüşleri üzerinden objektif bir sonuç sağlanmıştır. Tez çalışmasında elde edilen bulguların, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) profesyonellerine rehberlik edeceği ve önemli bir kaynak teşkil edeceği düşünülmektedir.

Bilim Kodu : 91219

Anahtar Kelimeler : Endüstriyel kazalar, iş sağlığı ve güvenliği, pareto analizi, çok kriterli karar verme yöntemi (ÇKKV), AHP

Sayfa Adedi : 121

Danışman : Doç. Dr. Saliha ÇETİNYOKUŞ

EVALUATION OF ACCIDENT RISK OF ORGANIZATIONS ACCORDING TO THE
ROOT CAUSES OF INDUSTRIAL ACCIDENTS WITH ANALYTICAL HIERARCHY
PROCESS (AHP)

(M. Sc. Thesis)

Şehmus ÜNVERDİ

GAZİ UNIVERSITY

GRADUATE SCHOOL OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES

May 2023

ABSTRACT

Prevention of industrial accidents and minimizing their effects are among the highest priority occupational health and safety issues in our country as well as in all developed and developing countries. In this thesis, it is aimed to evaluate the accident risk of organizations according to the root causes of industrial accidents with Analytical Hierarchy Process (AHP) which is one of the multi-criteria decision-making methods (MCDM). In the first stage, in order to determine the root cause criteria, the data of occupational accidents with death and loss of limb between 2015-2020 in the chemical industry were evaluated with Pareto analysis using SGK statistics. As a result of the analysis, the main criteria that make up 80% of the accidents in the sector were determined. Then, the final main and sub-criteria that could be the root cause of industrial accidents were determined by conducting literature research and brainstorming studies, and these criteria were weighted over the opinions of the relevant experts using AHP analysis. Human errors, one of the main criteria, were determined as the most important criterion with 35% importance. This was followed by equipment errors with 20% importance and process errors with 19% importance. In the second stage, field application was carried out on the same root cause main and sub-criteria in the sample 3 high-level industrial establishments, again with the AHP analysis. Establishments showed a distinctive ranking in terms of industrial accident risk (Establishment B= 0.420>, Establishment A= 0.354 >, Establishment C= 0.226). The proposed methodology has been shown to be suitable for such problems aiming to compare multiple criteria. With the AHP analysis, quantitative and qualitative evaluation criteria were included in the model simultaneously, and an objective result was obtained through expert opinions. It is thought that the findings of this thesis are the guides to Occupational Health and Safety (OHS) professionals and they are important resources.

Science Code : 91219

Key Words : Industrial accidents, occupational health and safety, pareto analysis, multi-criteria decision making method (MCDM), AHP

Page Number : 121

Supervisor : Assoc. Prof. Saliha ÇETİNYOKUŞ

TEŞEKKÜR

Tez çalışmamda bilgi, öneri ve her türlü yardımı esirgemeyen ve beni yönlendiren çok değerli tez danışmanım Doç. Dr. Saliha ÇETİNYOKUŞ'a ve her zaman beni destekleyen tüm dostlarım ve çalışma arkadaşlarıma teşekkürü borç bilirim.

Ayrıca her ihtiyaç duyduğumda yanımda olduğu ve desteğini esirgemediği için kıymetli eşime ve aileme en derin duygularıyla teşekkür ediyorum, tez çalışmamı çocuklarım Hatice Zişan ÜNVERDİ ve Ömer Faruk ÜNVERDİ'ye armağan ediyorum.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT.....	v
TEŞEKKÜR.....	vi
İÇİNDEKİLER	vii
ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....	ix
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	xiii
SİMGELER VE KISALTMALAR.....	xiv
1. GİRİŞ.....	1
2. ÇALIŞMANIN KONUSU VE KAPSAMI	5
2.1. Endüstriyel Kazalar	5
2.1.1. Endüstriyel kaza örnekleri.....	11
2.1.2. Endüstriyel kaza analizi	13
2.1.3. Kaza veri tabanları	14
2.2. Ulusal ve Uluslararası Mevzuat	18
2.2.1. Ulusal mevzuat.....	18
2.2.2. Uluslararası mevzuat.....	21
2.3. Kök Neden Analizleri	22
2.4. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	27
2.4.1. Analitik hiyerarşi prosesi (AHP).....	28
3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI	33
3.1. Kazaların Veri Analizine Yönelik Çalışmalar	33
3.2. Endüstriyel Kazaların Kök Neden Analizlerine Yönelik Çalışmalar	36
3.3. Çok Kriterli Karar Verme Analizlerine Yönelik Çalışmalar	41
4. MATERYAL VE METOT	49
4.1. Pareto Analizi.....	49
4.2. AHP Analizi	56

Sayfa

4.3. Endüstriyel Kaza Açısından Kök Nedenlere Göre Riskli Kuruluşun Değerlendirilmesi.....	59
5. BULGULAR	61
5.1. AHP Analizi	61
5.2. Endüstriyel Kaza Açısından Kök Nedenlere Göre Riskli Kuruluşun Belirlenmesi	81
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	99
KAYNAKLAR	103
EKLER.....	109
ÖZGEÇMİŞ	121

ÇİZELGELERİN LİSTESİ

Çizelge	Sayfa
Çizelge 2.1. Türkiye’de yaşanmış endüstriyel kazalara örnekler	11
Çizelge 2.2. Dünya’da yaşanmış endüstriyel kazalara örnekler	12
Çizelge 2.3. ÇKKV Yöntemleri ve Kullanım Sıklıkları	27
Çizelge 2.4. AHP Analizinde Kullanılan Önem Skalası.....	29
Çizelge 2.5. Rastgele Değer İndeksi.....	31
Çizelge 3.1. Kazaların veri analizine yönelik çalışmaların literatür özet çizelgesi	35
Çizelge 3.2. Endüstriyel kazaların kök neden analizlerine yönelik çalışmaların literatür özet çizelgesi	39
Çizelge 3.3. Kazaların ÇKKV Yöntemleri ile Değerlendirilmesine Yönelik Çalışmaların literatür özet çizelgesi	44
Çizelge 4.1. Kaza Sebep Tablosu	51
Çizelge 5.1. Ana kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi.....	61
Çizelge 5.2. Ana kriterlerin normalizasyon işlemleri için sütun toplamaları	62
Çizelge 5.3. Normalize edilmiş matris.....	62
Çizelge 5.4. Normalize edilmiş matris ve öncelik vektörü.....	63
Çizelge 5.5. Yönetim / Organizasyon kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi	66
Çizelge 5.6. Proses hataları kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi	68
Çizelge 5.7. Ekipman hataları kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi	70
Çizelge 5.8. Domino etkisi kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi.....	72
Çizelge 5.9. İnsan hataları kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi	74
Çizelge 5.10. Afetler kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi	76
Çizelge 5.11. Sabotaj kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi.....	77
Çizelge 5.12. Ana kriterlere ait ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı	78
Çizelge 5.13. Alt kriterlere ait ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı.....	79
Çizelge 5.14. Yetersiz güvenlik planları alt kriteri hesaplamaları.....	84
Çizelge 5.15. Yetersiz eğitimler alt kriteri hesaplamaları.....	84
Çizelge 5.16. Her türlü gelişme ve değişimi takipte yetersizlik alt kriteri hesaplamaları.....	85

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.17. İlgili kurum/ kuruluşlarla iş birliği yetersizliği alt kriteri hesaplamaları.....	85
Çizelge 5.18. Güvenlik performansı izleme yetersizliği alt kriteri hesaplamaları.....	85
Çizelge 5.19. Yanlış/eksik prosedür ve talimatlar alt kriteri hesaplamaları	85
Çizelge 5.20. Uygun olmayan güvenlik yönetim sistemi alt kriteri hesaplamaları	85
Çizelge 5.21. Eksik veya uygun olmayan iletişim sistemi alt kriteri hesaplamaları.....	85
Çizelge 5.22. Üretim baskısı alt kriteri hesaplamaları.....	86
Çizelge 5.23. Mobbing alt kriteri hesaplamaları.....	86
Çizelge 5.24. Tehlikeli kontaminasyonlar alt kriteri hesaplamaları	86
Çizelge 5.25. Tehlikeli faz oluşumları alt kriteri hesaplamaları	86
Çizelge 5.26. Tehlikeli reaksiyonlar alt kriteri hesaplamaları	86
Çizelge 5.27. Aşırı basınç alt kriteri hesaplamaları	87
Çizelge 5.28. Aşırı sıcaklık alt kriteri hesaplamaları	87
Çizelge 5.29. Aşırı doluluk oranı/ seviyesi alt kriteri hesaplamaları	87
Çizelge 5.30. Aktif güvelik bariyerleri eksikliği/ yetersizliği alt kriteri hesaplamaları.	87
Çizelge 5.31. Pasif güvenlik bariyerleri eksikliği/ yetersizliği alt kriteri hesaplamaları.....	87
Çizelge 5.32. Test edilmemiş/ tecrübe edilmemiş güvenlik bariyerleri alt kriteri hesaplamaları.....	88
Çizelge 5.33. Proses kontrol eksikliği/ yetersizliği alt kriteri hesaplamaları.....	88
Çizelge 5.34. Darbe alt kriteri hesaplamaları.....	88
Çizelge 5.35. Sızıntı alt kriteri hesaplamaları.....	88
Çizelge 5.36. Titreşim alt kriteri hesaplamaları.....	88
Çizelge 5.37. Korozyon/ Elektro erozyon (EDM) alt kriteri hesaplamaları	89
Çizelge 5.38. Mekanik gerilme/ Kırılma/ Kopma/ Yırtılma alt kriteri hesaplamaları...	89
Çizelge 5.39. Kimyasal hasar alt kriteri hesaplamaları.....	89
Çizelge 5.40. Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj alt kriteri hesaplamaları	89
Çizelge 5.41. Uygun olmayan ekipman yerleşimi/ güvenlik mesafeleri alt kriteri hesaplamaları.....	89
Çizelge 5.42. Uygun olmayan/ elverişsiz bakım alt kriteri hesaplamaları	90

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.43. Jet yangını alt kriteri hesaplamaları	90
Çizelge 5.44. Parlama yangını alt kriteri hesaplamaları	90
Çizelge 5.45. Havuz/ Tank yangını alt kriteri hesaplamaları.....	90
Çizelge 5.46. Taşma yangını (boil over) alt kriteri hesaplamaları.....	90
Çizelge 5.47. Toz patlaması alt kriteri hesaplamaları.....	91
Çizelge 5.48. Buhar Bulutu Patlaması alt kriteri hesaplamaları	91
Çizelge 5.49. Termal Runaway (Kaçak reaksiyonu) alt kriteri hesaplamaları	91
Çizelge 5.50. BLEVE-Şarapnel etkiler alt kriteri hesaplamaları.....	91
Çizelge 5.51. BLEVE-Ateş topu alt kriteri hesaplamaları.....	91
Çizelge 5.52. Toksik yayılım alt kriteri hesaplamaları	91
Çizelge 5.53. İhmal/ Tedbirsizlik/ Umursamazlık alt kriteri hesaplamaları.....	92
Çizelge 5.54. Dikkatsizlik/ Dalgınlık alt kriteri hesaplamaları.....	92
Çizelge 5.55. Acelecilik alt kriteri hesaplamaları	92
Çizelge 5.56. Tecrübesizlik alt kriteri hesaplamaları.....	92
Çizelge 5.57. Unutkanlık alt kriteri hesaplamaları	92
Çizelge 5.58. İşe uygun özellikte olmama alt kriteri hesaplamaları	93
Çizelge 5.59. Aşırı iş yükü/ yorgunluk alt kriteri hesaplamaları	93
Çizelge 5.60. Alkol veya ilaç kullanımı alt kriteri hesaplamaları.....	93
Çizelge 5.61. Tehlike ve riskler hakkında yetersiz bilgi alt kriteri hesaplamaları.....	93
Çizelge 5.62. İş hakkında yetersiz bilgi/ bilgisizlik alt kriteri hesaplamaları	93
Çizelge 5.63. Güvenlik kültürü eksikliği alt kriteri hesaplamaları	93
Çizelge 5.64. İşletme körlüğü alt kriteri hesaplamaları	94
Çizelge 5.65. Deprem alt kriteri hesaplamaları	94
Çizelge 5.66. Sel alt kriteri hesaplamaları	94
Çizelge 5.67. Yıldırım alt kriteri hesaplamaları.....	94
Çizelge 5.68. Heyelan alt kriteri hesaplamaları	94
Çizelge 5.69. Fırtına/ hortum alt kriteri hesaplamaları	95
Çizelge 5.70. Kaya düşmesi alt kriteri hesaplamaları.....	95

Çizelge	Sayfa
Çizelge 5.71. Aşırı sıcak dalgası alt kriteri hesaplamaları	95
Çizelge 5.72. Aşırı soğuk dalgası alt kriteri hesaplamaları	95
Çizelge 5.73. Salgın hastalık alt kriteri hesaplamaları	95
Çizelge 5.74. Siber saldırı alt kriteri hesaplamaları	95
Çizelge 5.75. Terör eylemleri alt kriteri hesaplamaları	96
Çizelge 5.76. Yangınla sabotaj alt kriteri hesaplamaları	96
Çizelge 5.77. Patlayıcı maddelerle sabotaj alt kriteri hesaplamaları	96
Çizelge 5.78. Mekanik sabotaj alt kriteri hesaplamaları	96
Çizelge 5.79. Bakteriyolojik ve kimyasal sabotaj alt kriteri hesaplamaları	96
Çizelge 5.80. Fikri sabotaj alt kriteri hesaplamaları	97
Çizelge 5.81. Psikolojik sabotaj alt kriteri hesaplamaları	97

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Yangın kaynaklı kazalar	8
Şekil 2.2. Patlama kaynaklı kazalar	10
Şekil 2.1. Büyük endüstriyel kazalara ilişkin yayımlanan yönetmelik ve tebliğler.....	20
Şekil 4.1. Kaza Sebeplerinin Analizi	53
Şekil 4.2. Kök nedenlere bağlı kriter ve alt kriterler.....	58
Şekil 5.1. Ana kriterlere ait hesaplamaların SuperDecisions programı ekran görüntüsü	65
Şekil 5.2. Yönetim / Organizasyon kriterine ait hesaplamaların SuperDecisions programı ekran görüntüsü	67
Şekil 5.3. Proses hataları kriterine ait hesaplamaların SuperDecisions programı ekran görüntüsü	69
Şekil 5.4. Ekipman kriterine ait hesaplamaların SuperDecisions programı ekran görüntüsü	71
Şekil 5.5. Domino etkisi kriterine ait hesaplamaların SuperDecisions programı ekran görüntüsü	73
Şekil 5.6. İnsan hataları kriterine ait hesaplamaların SuperDecisions programı ekran görüntüsü	75
Şekil 5.7. Afetler kriterine ait hesaplamaların SuperDecisions programı ekran görüntüsü	77
Şekil 5.8. Sabotaj kriterine ait hesaplamaların SuperDecisions programı ekran görüntüsü	78
Şekil 5.9. Endüstriyel kazaların kök nedenlerine göre kuruluş kaza riski değerlendirme şeması	83
Şekil 5.10. Örnek endüstriyel kuruluşların Google Earth görüntüsü.....	84

SİMGELER VE KISALTMALAR

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

Kısaltmalar	Açıklamalar
AB	Avrupa Birliği
AFAD	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
AHP	Analitik Hiyerarşi Prosesi
ANP	Analitik Ağ Süreci
APELL	Acil Durumlar için Yerel Düzeyde Farkındalık ve Hazırlık
BEKÖVEAHY	Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Yönetmeliği
BLEVE	Kaynayan Sıvı Genişleyen Buhar Patlaması
CLP	Tehlikeli Maddeler Direktifi
CSB	Kimyasal Güvenlik Kurulu
ÇASGEM	Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi
ÇKKV	Çok Kriterli Karar Verme
DMRA	Karar Matrisi Risk Değerlendirme
EC	Avrupa Komisyonu
ELECTRE	Gerçeği Yansıtan Eleme ve Seçim
EM-DAT	Acil Durumlar Veri Tabanı
EPA	Çevre Koruma Ajansı
FAHP	Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci
FMEA	Hata Türleri ve Etkileri Analizi
HAZOP	Tehlike ve İşletilebilirlik
HFACS	İnsan Faktörleri Analiz ve Sınıflandırma Sistemi
ILO	Uluslararası Çalışma Örgütü
IOGP	Uluslararası Petrol ve Gaz Üreticileri Birliği
İBYS	İş Sağlığı ve Güvenliği Bilgi Yönetim Sistemi
İSG	İş Sağlığı ve Güvenliği
KOBİ	Küçük ve Orta Büyüklükteki İşletmeler
MAHB	Büyük Kaza Tehlikeleri Bürosu
MARS	Büyük Kaza Raporlama Sistemi

Kısaltmalar	Açıklamalar
MCDM	Çok Kriterli Karar Verme
NACE	Avrupa Topluluğundaki Ekonomik Faaliyetlerin İstatistiksel Sınıflandırması
OSHA	Amerikan İş Sağlığı ve Güvenliği İdaresi
OSHA	İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi
PFAHP	Pisagor Bulanık Analitik Hiyerarşi Süreci
REACH	Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, Ruhsatlandırılması ve Kısıtlanması
SGK	Sosyal Güvenlik Kurumu
SIT	Sistematiik Yaratıcı Düşünme
TABB	Türkiye Afet Bilgi Bankası
TEIA	Endüstriyel Kazaların Sınır Aşırı Etkileri
TOPSIS	Benzerliğe Göre Sıralama Tercihi Tekniğı
TRIZ	Yaratıcı Problem Çözme Teorisi
UNEP	Birleşmiş Milletler Çevre Programı
VCE	Buhar Bulutu Patlaması
VIKOR	Çok Kriterli Optimizasyon ve Uzlaşma Çözümü
WHO	Dünya Sağlık Örgütü

1. GİRİŞ

Günümüzde hayatı kolaylaştırmasının yanında çevre ve insan sağlığına karşı riskler de içeren ürünler endüstriyel kuruluşlar tarafından üretilmektedir. Ortaya çıkan bu risklerin kontrol edilmesinde yaşanan zorluklar neticesinde, çevre ve canlı yaşamı üzerinde kısa, orta ve uzun vadede olumsuz etkilerin görülebileceği büyük endüstriyel kazalar meydana gelmektedir. Bu kazalar, artan sanayileşme ile birlikte sıkça gündeme gelmekte fakat meydana geldiği zaman hatırlanmaktadır. Endüstriyel kuruluşlarda bu tür kazaların önlenmesi, etkilerinin en aza indirilebilmesi ve kazaya müdahale yönünde tedbirlerde yetersiz kalınması dünyada olduğu gibi ülkemizde de öncelikli iş sağlığı ve güvenliği (İSG) konuları arasındadır.

Endüstriyel kazalar, İSG yanında, çevre ile de ilgilidir. Bu nedenle hem yetkililer hem de sanayiciler tarafından ortaya konulması gereken tüm sorumlulukların başarılı bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Günümüzde sanayileşmenin artması ile birlikte modern endüstriyel kuruluşların üretim süreçleri, birçok kimyasal madde kullanımını da gerektirmektedir. Bu kimyasal maddeler, tüketici malının yanında, inşaat, imalat, tarım ve hizmet sektörlerini de içeren oldukça önemli üretim bileşenleridir. Kimyasal maddelerin depolanması, üretimi, kullanımı, taşınması veya bertaraf edilmesi sırasında oluşacak bir olumsuzluk sonucunda meydana gelebilecek olası bir yangın, patlama veya toksik yayılım ciddi hasarlara yol açabilmektedir.

Tehlikeli kimyasalların özelliklerine bağlı olarak olumsuz bir durumun çevre ve insan sağlığı üzerinde etkileri farklılık göstermektedir. Tehlikeli kimyasal madde içeren, insan sağlığını tehdit eden, çevrenin uzun dönemli veya kalıcı olarak kirlenmesine sebep olan ve yüksek derecede maddi hasar veren, geniş çaplı acil durum müdahalesi gerektiren yangın, patlama veya toksik yayılım olayları büyük endüstriyel kaza olarak adlandırılmaktadır (ÇSB, 2014). 2008 yılında Amerika Birleşik Devletleri (ABD)'de rafinerideki paketleme binasında çok fazla miktarda yanıcı şeker tozunun birikmesi ve akabinde alevlenmesi sonucunda yangın ve patlama meydana gelmiş, kaza 14 kişinin ölümüne ve 14'ü ciddi ve hayati tehlike oluşturan yanıklarla 38 kişinin yaralanmasına neden olmuştur. Yine 2018'de ABD'de bir petrol rafinerisinde bir patlama meydana gelmiş ve kuruluşun tekrar işletmeye alınması beş hafta almıştır. Kazada birkaç kişi yaralı olarak bölgedeki hastanelere gönderilmiştir. 1984'te Hindistan'da böcek ilacı üremi yapılan bir fabrikadan yanlışlıkla 40

ton metil isosiyanat gazının salınması sonucunda 18.000 kişi ölmüş ve 150.000'den fazla insan zehirlenmiştir (CSB, 2022).

Endüstriyel kuruluşlarda meydana gelen büyük kazalar geri dönülemeyecek hasarlara yol açmaktadır. Bu sebeple kazaların kök nedenlerinin analiz edilmesi, kazaların tekrerrünün önlenmesi açısından oldukça önemlidir. Kazaları, çözülmesi gereken bir problem, bir zorluk hali olarak ele alabiliriz. Bir problem genellikle farklı düzeylerde birden çok nedenin sonucudur. Bu yüzden, bir problemi çözmeye çalışırken; problemin nedenini (veya nedenlerini) belirlemeli ve bu nedenleri ortadan kaldırmanın ve tekrar etmesini engellemenin yolları bulunmalıdır. Nedenleri belirledikten sonra, onları ortadan kaldırmak genellikle çok daha kolay bir iş haline gelmektedir. Endüstriyel kazaların kök nedenleri çok çeşitli olabilmektedir. İnsan hatalarının yanında proses, ekipman, çevresel etkiler vb. unsurların da göz önünde bulundurulması gerekmektedir.

İnsanoğlu, hayatı boyunca her alanda karar verilmesini gerektiren ve çoğu kez birden fazla kriteri içeren olaylar ve problemler ile karşı karşıya kalabilmektedir. Bu olay ve problemlerin çözümüne karar verilirken de genelde birden çok faktörün bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Karar verme aşamasında, alternatifler arasından seçim yapılırken dikkate alınan kriterlerin hepsinin alınan karar üzerindeki ağırlığı aynı değildir. Bu ağırlıklar çoğu kez karar vericiye göre değişebilmektedir. Bu nedenle, genellikle bu tür problemlerin kesin bir çözümü yoktur. Diğer bir deyişle, alternatif çözümlerden hiç birisi, belirlenen tüm kriterlere göre en iyi çözüm değildir. Birden fazla kriter dikkate alınarak, alternatifler arasından en uygun olanın seçilmesi ya da alternatifleri sıralama problemleri çok kriterli problemler olarak adlandırılmaktadır. Kişisel seçim problemlerinden, ekonomik, endüstriyel, finansal, politik karar problemlerine kadar geniş bir yelpazede somut ve soyut ölçütlere veya niteliklere göre karar verirken en iyisini seçmek ve birden fazla kriterin bulunduğu durumlarda karar verilmesini sağlamak için çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmaktadır. En sık kullanılan yöntemlerin başında Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ve Benzerliğe Göre Sıralama Tercihi Tekniği (TOPSİS) analizleri gelmektedir.

Bu tez çalışmasında endüstriyel kazaların kök nedenlerine göre kuruluş kaza riskinin AHP analizi ile değerlendirilmesi amaçlanmıştır ve bu kapsamda endüstriyel kazaların kök nedeni olabilecek kriterleri belirlemek için kimya sektöründe faaliyet gösteren kuruluşlar ve Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) istatistikleri kullanılarak seçilen iş yerlerinde 2015-2020 yılları

arasında yaşanmış ölümlü ve uzuv kayıplı iş kazası verileri Pareto analizi ile değerlendirilmiştir. Pareto analizi sonrasında endüstriyel kazaların kök nedeni olabilecek ana kriterleri belirlemek için literatür araştırması gerçekleştirilmiş ve Pareto analizinde veriler de dikkate alınarak ana kriterler ve alt kriterler belirlenmiştir.

Kriterlerin değerlendirilmesi için ÇKKV yöntemleri incelenmiş ve kriterlerin göreceli ağırlıklarının tespit edilmesi amacıyla AHP analizi ile değerlendirmenin gerçekleştirilmesine karar verilerek ana ve alt kriterler için anketler oluşturulmuş ve kriterler ağırlıklandırılmıştır. Ardından örnek endüstriyel kuruluşlar, endüstriyel kaza riski açısından sıralanmıştır. Endüstriyel kuruluşların uzman görüşleri üzerinden endüstriyel kaza riskinin kök nedenlere göre AHP analizi ile değerlendirilmesi çalışmaya özgün bir nitelik sunmuştur.

2. ÇALIŞMANIN KONUSU VE KAPSAMI

Bu bölümde endüstriyel kazalar, ilgili ulusal ve uluslararası mevzuat ile kök neden analizleri ve çok kriterli karar verme yöntemleri konularında bilgi verilmiştir.

2.1. Endüstriyel Kazalar

Yeni kimyasalların keşfedilmesi ve sanayileşmenin modern yaşamımızın ayrılmaz bir parçası haline gelmesi, sağlığa zararlı etkileri olmasına rağmen yaşantımıza kolaylıklar sağlaması nedeniyle kimyasalların kullanımını artırmış ve artırmaya devam etmektedir. Bu süreçte nüfus hızla büyümüş ve ihtiyaçlar artmış, ihtiyaçlardaki artışa paralel olarak birçok kimyasal hayatımıza girmiş, bunun sonucunda da büyük endüstriyel kuruluşlar kurulmuş ve zararlı kimyasalların üretilmesine ve depolanmasına gözle görülür bir artış sağlamıştır.

Endüstriyel ürünler hayatımızı kolaylaştırmasının yanında hem insan hem de çevre sağlığına karşı büyük riskleri de beraberinde getirmektedir. Bu risklerin kontrol edilmesinde büyük zorluklar yaşanmakta ve bunun sonucunda da canlı yaşamı ve çevre üzerinde olumsuz etkilerin olduğu büyük endüstriyel kazalar meydana gelmiştir (Reniers ve Cozzani, 2013).

Literatür incelendiğinde birden fazla büyük kaza tanımı karşımıza çıkmaktadır. Avrupa Komisyonu'nun 96/82/EC sayılı direktifinde büyük kaza aşağıdaki şekilde tanımlanmıştır.

Kuruluştaki çalışmalar esnasında, kontrol edilmesi mümkün olmayan olaylardan kaynaklı, kuruluş içindeki veya dışındaki insanların sağlığı ve çevre açısından hemen ya da daha sonra ciddi tehlikelerin oluşmasına yol açabilecek, bir ya da daha fazla tehlikeli madde sebebiyle büyük bir emisyon, yangın ya da patlama gibi bir olayın gerçekleşmesi (EC, 1996).

Dünya Sağlık Örgütü'ne göre ise endüstriyel kazalar; “doğal çevrede hasara, can ve mal kaybına yol açan, kuruluş içerisinde etkilenenlerin yanında, kuruluş dışı alanlarda da olağanüstü müdahale gerektirebilecek, meydana geldiği zamanda ve sonrasında canlı yaşamında kısa, orta veya uzun vadede sağlık sorunlarına sebep olabilecek olaylar” şeklinde tanımlanmıştır (WHO, 2021).

Avrupa Komisyonu’nun 2012/18/EU sayılı direktifinde ise büyük kaza tanımı; *“kuruluştaki çalışmalar esnasında kontrol edilmesi mümkün olmayan olaylardan kaynaklanan, kuruluş içindeki veya dışındaki insanların sağlığı veya işletmenin bulunduğu çevre açısından hemen veya daha sonra ciddi tehlikelerin meydana gelmesine yol açabilecek, 2012/18/EU sayılı direktif kapsamında bulunan bir ya da daha fazla tehlikeli madde sebebiyle büyük bir emisyon, yangın ya da patlama gibi bir olayın gerçekleşmesi”* şeklinde ifade edilmiştir (EC, 2012).

ABD İş Güvenliği ve Sağlığı İdaresi (OSHA), Uluslararası Petrol ve Gaz Üreticileri Birliği (IOGP) ve ABD Çevre Koruma Ajansı’na (EPA) göre büyük kaza ise; *“kuruluş içinde veya dışında insanların ölümüne, üç veya daha fazla kişinin hastanede tedavi görmesine ve 500.000 dolarlık ciddi hasara neden olan olay”* şeklinde tanımlanmıştır (OSHA, 1996).

Literatürde yer alan bu tanımlamalardan yola çıkarak, büyük endüstriyel kazayı; hemen veya daha sonra insan ve çevre sağlığı ile kuruluştaki doğrudan veya dolaylı olarak hasarlara yol açan, önceden kestirilemeyen yangın, patlama, toksik madde salınımı olan olay olarak tanımlayabiliriz.

Sanayileşmenin artması ile birlikte endüstriyel kazalar sıkça gündeme gelmekte fakat oluştuğu zaman hatırlanmaktadır. Endüstriyel kuruluşlarda bu tür kazaların önlenmesi, etkilerinin en aza indirilebilmesi ve kazaya müdahale yönünde tedbirlerde yetersiz kalınması, tüm dünyada olduğu gibi ülkemizde de öncelikli İSG konuları arasındadır. Endüstriyel kazalar, İSG yanında, çevre ile de ilgilidir. Bu sebeple hem yetkililer hem de sanayiciler tarafından ortaya konulması gereken tüm sorumlulukların başarılı bir şekilde uygulanması gerekmektedir. Günümüzde sanayileşmenin artması ile birlikte modern endüstriyel kuruluşların üretim süreçleri, birçok kimyasal madde kullanımını da beraberinde gerektirmektedir. Bu kimyasal maddeler, tüketici malının yanında, inşaat, imalat, tarım ve hizmet sektörlerini de içeren oldukça önemli üretim bileşenleridir. Kimyasal maddelerin depolanması, üretimi, kullanımı, taşınması veya bertaraf edilmesi sırasında oluşacak bir olumsuzluk sonucunda meydana gelebilecek olası bir yangın, patlama veya toksik yayılım ciddi hasarlara yol açabilmektedir.

Büyük endüstriyel kazalar; tehlikeli madde içeren, çok sayıda insanın sağlığını tehdit eden, çevrenin kirlenmesine ve yüksek derecede maddi hasara neden olan, geniş çaplı acil durum müdahalesi gerektiren yangın, patlama ve toksik yayılım olayları olarak tanımlanmaktadır. Büyük endüstriyel kaza riskleri temel olarak aşağıdaki şekildedir:

- Yanıcı maddelerin bir alev veya ısı enerjisi aracılığı ile tutuşarak meydana gelen yangın,
- Ani gaz salınımı ile meydana gelen yanıcı madde karışımlarından kaynaklanan patlama,
- Tehlikeli kimyasal maddelerin havaya, suya veya toprağa karışması ile oluşan toksik yayılım.

Tehlikeli madde kullanan, üreten yada depolayan kuruluşlarda, tehlikeli olayların meydana gelmesine sebep olabilecek unsurlar ise aşağıdaki şekildedir:

- Reaktör,
- Yardımcı ekipmanlar: borular, kondansatör vb.,
- Tehlikeli maddelerin depolanması,
- Ayırma üniteleri.

Büyük endüstriyel kazalar, “herhangi bir kuruluşun işletilmesi sırasında kontrolsüz gelişmelerden kaynaklanan ve insan sağlığı ve/veya çevre için ani veya gecikmeli ciddi tehlikeye yol açan, kuruluşun içinde veya dışında ve bir veya daha fazla tehlikeli madde içeren yangın, patlama veya toksik madde salınımı gibi bir olay” olarak tanımlanmıştır. Büyük kazalar, önemli miktarlarda enerjinin veya bir veya daha fazla tehlikeli maddenin bir anda veya nispeten kısa bir süre içinde salınmasını içerir. Bu durum hem endüstriyel kuruluşlarda hem de nakliye sırasında meydana gelebilir. Tren veya karayolu tankerlerinin karıştığı büyük kazalar bu duruma örnek gösterilebilir (Casal, 2007).

Büyük kazalar, aşağıdaki tehlikeli olaylardan bir veya daha fazlasıyla ilişkilidir (Casal, 2007):

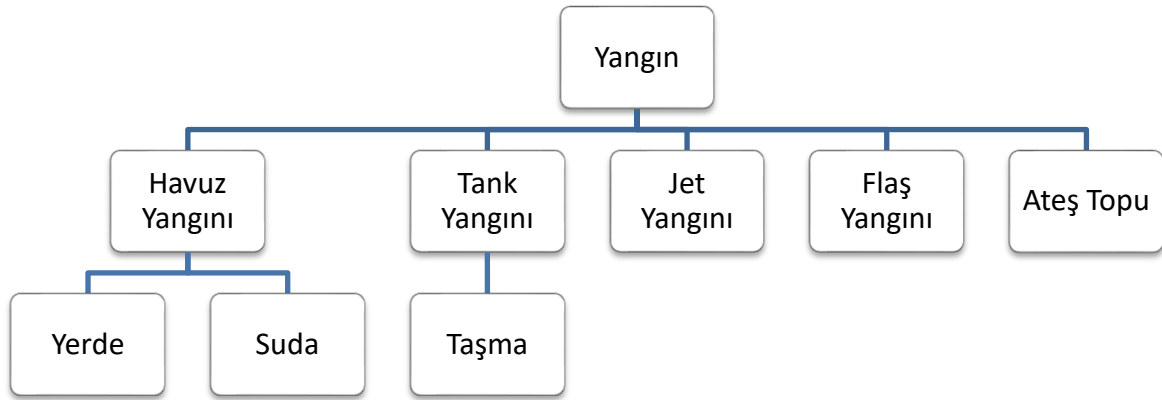
- Termal: termal radyasyon
- Mekanik: patlama (basınç dalgası) ve parçaların fırlatılması
- Kimyasal: zehirli maddelerin salınması.

Bu kazalar insanları, ekipmanları ve çevreyi etkileyebilir. İnsani sonuçlar fiziksel (ölümler veya yaralanmalar) veya psikolojik olabilir. Ayrıca hem kazanın meydana geldiği kuruluşun çalışanlarını hem de dış nüfusu etkileyebilir (Casal, 2007).

Kuruluş üzerindeki sonuçlar ise genellikle ekipman veya binaların tahrip olmasıdır. Çevresel sonuçlar anında veya gecikmeli olabilir ve tehlikeli bir maddenin atmosfere, toprağa veya suya salınmasını içerebilir. Ek olarak, büyük kazalar genellikle ilgili şirketin kar kaybı gibi dolaylı kayıplara da neden olabilir.

Büyük endüstriyel kazalar yangın, patlama veya tehlikeli maddelerin salınımından meydana gelmektedir. Bir endüstriyel kaza aynı zamanda bu olaylardan birden fazlasını da içerebilir; bir patlamayı yangın takip edebilir, bir yangın bir geminin patlamasına neden olabilir ve bir patlama toksik madde salınımlarına neden olabilir. Yangın, patlama ve toksik madde salınımları da aşağıdaki şekillerde tanımlanmaktadır (Casal, 2007).

Yangın kaynaklı kazalar Şekil 2.1.'de gösterildiği gibi havuz yangını, tank yangını, jet yangını, flaş yangını ve ateş topu kategorilerine ayrılmaktadır (Casal, 2007).



Şekil 2.1. Yangın kaynaklı kazalar

Havuz yangınları: Belirli bir boyut ve şekle sahip bir yanıcı sıvı havuzunun (genellikle bir hidrokarbon) kararlı durumda yanması ile belirlenir ve havuz yangınlarının çoğu açık havada çıkar. Yanma zayıftır ve büyük miktarlarda siyah duman çıkar. Büyük havuz yangınları, değişken alev uzunluğuna sahiptir. Yanıcı, karışmayan bir sıvı suya döküldüğünde de havuz yangını meydana gelebilir.

Tank yangınları: Havuz yangınlarına benzer, ancak genellikle dairesel bir şekle sahip tanklarda meydana gelmektedir. Alevler yerden belirli bir yükseklikte bulunur.

Jet yangınları: Tutuşabilir gaz veya buhar içeren tanktan salınan kimyasalın tutuşmasından meydana gelir ve alevler büyük uzunluk/çap oranına sahiptir.

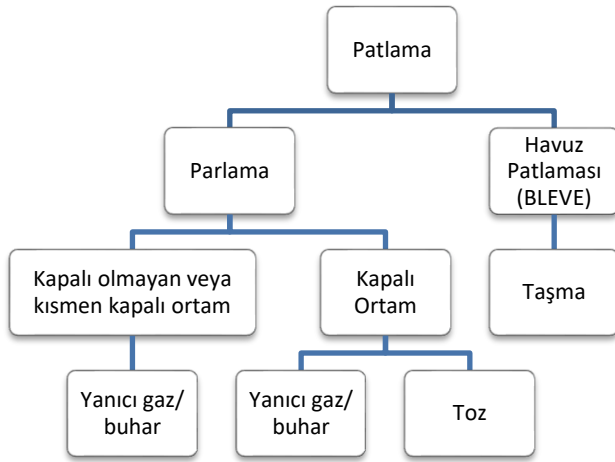
Havanın aleve girmesi, havuz yangınlarından çok daha verimli yanma gerçekleştirir. Jet yangınlarının şekli ve konumu esas olarak kaynağın kapasitesi ve salınım hızı ile belirlenmektedir.

Havuz yangınları, tank yangınları ve jet yangınları çok yüksek ısı akışları üretebilir ancak bu etki, patlamaların veya toksik salınımın atmosferik dağılımı ile ilişkili olanlardan çok daha kısa bir mesafe ile sınırlıdır. Ancak, bu alandaki diğer ekipmanlar yangından ciddi şekilde zarar görebilir.

Flaş yangınları: Bu yangınlar, alevlerin hava ve yanıcı gaz veya buhar karışımı yoluyla alevlenebilirlik sınırları içinde yayıldığı ani, yoğun yangınlardır. Belirli koşullar altında atmosferik gaz/buhar dağılımı ile ilişkilidirler. Bulut bir ateşleme kaynağıyla karşılaştığında, alev yanıcı karışım boyunca yayılır. Belirli koşullarda mekanik etkiler de (patlama) meydana gelebilir. Buhar bir sıvı havuzundan geliyorsa, ani yangın bir havuz yangınına yol açabilir.

Ateş topu: Tipik olarak aşırı ısıtılmış yanıcı bir sıvı içeren bir kabın patlamasıyla ilişkilendirilen bir sıvı/buhar karışımı kütesinin tutuşmasıdır. Bulutun içinde oksijen olmadığı için ateş sadece ateş topunun dışında yanar. Güçlü termal radyasyon nedeniyle damlacıklar buharlaştıkça, karışımın yoğunluğu azalır ve ateş topunun çapı artar. Kaynama durumunda tank yangınlarında büyük ancak kısa süreli ateş topları da oluşabilir.

Patlamalar, mekanik olayları içeren büyük kazalarla ilişkilidir. Patlamalar, basınçlı bir gazın veya buharın genişmesi, bir sıvının ani buharlaşması (fiziksel patlamalar) veya hızlı bir kimyasal reaksiyon (genellikle yanma) nedeniyle hacminde hızlı bir artış olduğunda meydana gelir. Patlamalar Şekil 2.2.'deki kategorilerde sınıflandırılabilir (Casal, 2007).



Şekil 2.2. Patlama kaynaklı kazalar

Buhar bulutu patlamaları: Önemli miktarda yanıcı gaz veya hava ile karışmış buhar içeren kimyasal patlamalardır. Genellikle yanıcı sıvıların veya buhar-sıvı karışımlarının salınmasıyla ilişkilendirilirler. Bir buhar bulutu patlamasına her zaman bir ani yangın eşlik eder ve mekanik etkilerin (patlamanın) ciddiyeti ilgili kütle ve ortamın özellikleri (sınırlandırılma/tıkanma) tarafından belirlenir.

Havuz patlamaları ve BLEVE'ler: Buharı ile dengede olan basınçlı bir gaz veya aşırı ısıtılmış bir sıvı (atmosferik basınçta kaynama noktasından önemli ölçüde daha yüksek bir sıcaklıktaki bir sıvı) içeren bir kabın ani arızasının neden olduğu fiziksel patlamalardır. Belirli koşullar altında bu tür bir patlamalara BLEVE (Kaynayan Sıvı Genişleyen Buhar Patlaması) adı verilebilir.

Toz patlamaları: Oksitlenebilir partikül katılar (un, şeker, mantar, alüminyum, aspirin ve kömür gibi) ince bir şekilde bölündüklerinde ve havada dağıldıklarında çok hızlı bir şekilde yanarak ciddi patlamalara neden olurlar. Toz patlamaları partikül boyutu ve havadaki katı konsantrasyonu ile belirlenir ve modellenmesi çok zordur. Kapalı ortamlarda, genellikle ekipmanın (silolar, siklonlar) içinde meydana gelirler. İlk patlama genellikle büyük miktarda tozun dağılmasına neden olan güçlü bir türbülans oluşturur; bunu ikinci, çok daha güçlü bir patlama takip eder.

Toksik salınım: Toksik bir maddenin salınması zehirli bir bulut oluşturabilir. Bulutun yoğunluğuna (havadan ağır veya havanınkine eşit veya daha az yoğunluğa sahip) ve meteorolojik koşullara bağlı olarak, bulut ya atmosfere hızla dağılır ya da yere yakın gelişir ve rüzgar hızında hareket eder.

Toksik salınım gerçekleştikten sonra, yayılma dökülen maddenin fiziksel durumuna bağlı olacaktır. Zemine bir sıvı döküldüğünde ve beton tabakası olmadığında hem toprak hem de yer altı suları kirlenebilir. Dökülme su üzerine meydana gelirse veya madde suya ulaşırsa su kirlenir. Ürün sudan daha az yoğunsa ve suya karışmazsa atmosfere buharlaşabilir.

2.1.1. Endüstriyel kaza örnekleri

Tehlikeli maddelerin neden olduğu endüstriyel kazalar, kuruluşta çalışanlar, toplum ve çevre için önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Ayrıca ekonomik kayıplara da neden olan bu kazalar, sürdürülebilir büyümenin de önündeki en büyük engeldir. Bunun yanında, modern endüstrileşmiş toplumlar için hayati öneme sahip endüstriyel kuruluşlarda büyük miktarlarda tehlikeli madde kullanılması da kaçınılmazdır. Bunun sonucunda bu tür kuruluşlarda tehlikeli maddelerden kaynaklanabilecek birçok kaza meydana gelmiştir.

1900-2022 yılları arasında Türkiye’de meydana gelen 178 adet teknolojik afet raporlanmış, bu afetlerde 7.125 kişi hayatını kaybetmiş ve yaklaşık 278 milyon dolar ekonomik kayıp meydana gelmiştir (EM-DAT, 2022). Bu bölümde ulusal ve uluslararası düzeyde yaşanmış kaza örnekleri verilmiştir. Çizelge 2.1.’de Türkiye’de yaşanmış endüstriyel kazalardan bazıları (EM-DAT, 2022), Çizelge 2.2.’de ise Dünya’da oluşmuş endüstriyel kazalardan bazı örnekler verilmiştir (İKV, 2020).

Çizelge 2.1. Türkiye’de yaşanmış endüstriyel kazalara örnekler

Yıl	Yer	Olay	Sonuç
1979	İstanbul	Petrol sızıntısı kaynaklı yangın	▪ 50 ölü
1983	Çanakkale	Madende patlama	▪ 41 ölü ve 28 yaralı
1989	İstanbul	Boya fabrikasında patlama	▪ 11 ölü ve 34 yaralı
1992	Tekirdağ	Tekstil fabrikasında patlama	▪ 32 ölü ve 27 yaralı
2003	Kayseri	Okul yurdunda patlama	▪ 10 ölü ve 13 yaralı
2011	Ankara	Fabrikada patlama	▪ 10 ölü ve 20 yaralı
2014	Manisa	Kömür madeninde patlama	▪ 301 ölü ve 80 yaralı
2016	Adana	Okul yurdunda yangın	▪ 12 ölü ve 22 yaralı
2022	Bartın	Kömür madeninde patlama	▪ 41 ölü ve 28 yaralı

Çizelge 2.2. Dünya’da yaşanmış endüstriyel kazalara örnekler

Yıl	Yer	Kimyasal	Olay	Sonuç
1974	Flixborough, Birleşik Krallık	Siklohekzan	Patlama	28 ölüm 89 yaralanma
1976	Seveso, İtalya	TCDD	Toksik salınım	- TCDD salınımı nedeniyle çok fazla klorakne vakası 410 kişide kimyasal yanık - Çevre ve kırsal bölgede kirlilik - İtlaf edilen çok sayıda besi hayvanı
1984	Mexico, Meksika	LPG	Yangın, Patlama	650 ölüm 6.400 kişi yaralanma
1984	Bhopal, Hindistan	Metilizosiyana t	Toksik salınım	- Yaklaşık 3.000 ölüm - Yaklaşık 170.000 yaralanma
1986	Basel, İsviçre	Kimyasal tarım maddesi	Yangın	- Su tedarikinde bozulma - Büyük çapta çevresel hasar
1989	Pasadena, Teksas, ABD	Petrokimya	Yangın, Patlama	23 ölüm - Yaklaşık 300 yaralanma
2000	Enschede, Hollanda	Patlayıcılar	Patlama ve yangın	21 ölüm - Yaklaşık 900 yaralanma
2001	Toulouse, Fransa	Petrokimya	Patlama	29 ölüm - Yaklaşık 2.500 yaralanma
2005	Teksas, ABD	Petrokimya	Patlama	15 ölüm 170 yaralanma
2005	Buncefield, Birleşik Krallık	Petrokimya	Yangın, Patlama	- Büyük çevresel hasar - Yakıt dağıtım ağında kesinti
2012	Gumi, Güney Kore	Petrokimya	Sızıntı	5 ölüm 18 yaralanma - Büyük çevresel hasar - İtlaf edilen çok sayıda besi hayvanı
2013	West, Teksas, ABD	Petrokimya	Patlama ve yangın	15 ölüm 200 yaralanma - Büyük çevresel hasar

2.1.2. Endüstriyel kaza analizi

Endüstriyel kazaların önlenmesinde risk analizi çalışmaları yapılması ve yaşanmış kazaların analiz edilerek kök sebeplerinin belirlenmesi, benzer kazaların önlenmesi adına önemli bir yer tutmaktadır. Mevzuatımızda, endüstriyel kuruluşların hazırlamaları ve uygulamaları gereken birçok belge ve doküman tanımlanmıştır. Alt ve üst seviyeli kuruluşlar tarafından büyük endüstriyel kazaların tehlikelerinin belirlenmesi ve bu tehlike kaynaklarından oluşabilecek risklerin değerlendirilebilmesi amacıyla büyük kaza senaryo dokümanı hazırlanması gerekmektedir. Ayrıca alt seviyeli kuruluşlar büyük kaza önleme politika belgesini de hazırlamakla yükümlüdür. Büyük kaza önleme politika belgesi; büyük endüstriyel kazaların önlenmesi ve işyerinde yüksek seviyede koruma önlemi alınması amacıyla, güvenlik yönetim sistemi ile ilgili bilgilerden oluşan bir belgedir.

Bunların yanında, üst seviyeli bir kuruluşlar, bir güvenlik raporu hazırlamak ve kuruluş bünyesinde muhafaza etmek zorundadır. Güvenlik raporu; kuruluşun, kuruluşta yürütülen işlemlerin ve proseslerin tanımlandığı, kuruluşta uygulanan güvenlik yönetim sistemine ait ilgili bilgilerin de bulunduğu bir belgedir. Ayrıca üst seviyeli kuruluşlar, bir dâhili acil durum planı hazırlamak, BEKRA sistemine yüklemek ve kuruluşta muhafaza etmek zorundadır (BEKÖVEAHY, 2019).

Bu belgelerin hazırlanabilmesi amacıyla öncelikli olarak olası tehlikelerin ve bu tehlike kaynaklarından oluşabilecek risklerin tanımlanması ve tespit edilmesi gerekmektedir. Ülkemizde risk değerlendirilmesinin yapılması, 30.06.2012 tarihli ve 28339 sayılı Resmî Gazete’de yayımlanan 6331 sayılı “İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu” ile zorunlu hale gelmiştir. Bu kanunun 25. maddesinde büyük endüstriyel kazaların meydana gelebileceği kuruluşlarda, risk değerlendirmesinin yapılmaması durumunda işin durdurulacağı belirtilmiştir. Endüstriyel kuruluşlardaki riskler dikkate alındığında, risk analizine, olası tehlikelerin tespitiyle başlanılmalıdır. Risk analizi için kuruluşlarda birçok yöntem kullanılmaktadır. Bunlardan bazıları; Kontrol Listesi Analizi, Olay Ağacı Analizi, Hata Ağacı Analizi, Sebep-Sonuç Analizi, Hata Modları ve Etkileri Analizi ve “Olursa Ne olur” analizidir.

2.1.3. Kaza veri tabanları

Bu çalışmada, endüstriyel kazalar ile ilgili ulusal ve uluslararası veri kaynakları araştırılmıştır. Bu amaçla, Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı (AFAD) Türkiye Afet Bilgi Bankası (TABB), iş kazası ve meslek hastalıklarının bildirildiği İş Kazası Meslek Hastalığı E-Bildirim Sistemi (SGK), İSG alanında karar destek sisteminin ön hazırlığını oluşturmak ve mevcut verilerin anlamlandırılabilmesi amacıyla oluşturulan İş Sağlığı ve Güvenliği Bilgi Yönetim Sistemi (İBYS), işyerlerinin iş sağlığı ve güvenliği açısından yer aldığı tehlike sınıflarının tespit edildiği İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği, Avrupa Birliği Büyük Kaza Raporlama Sistemi (MARS), uluslararası OFDA/CRED Acil Durumlar Veri Tabanı (EM-DAT), UNEP APELL Teknolojik Afetler Listesi ve ABD Kimyasal Güvenlik Kurulu (CSB) incelenmiştir.

Türkiye Afet Bilgi Bankası (TABB)

T.C. İç İşleri Bakanlığı, AFAD başkanlığınca yürütülmekte olan TABB Sistemi “tabb.afad.gov.tr” web adresinde yayına açılmıştır. AFAD- Ulusal Deprem Araştırma Programı (UDAP- G-12-01)’ta araştırma projesi olarak yer alan TABB sistemi; ülkemizde meydana gelebilecek afetlere karşı hazırlıklı olma ve olası zararların azaltılabilmesi amacıyla tüm belge ve kaynakların bir arada tutulabilmesi, geçmiş verilerin analiz edilebilmesi, doğal ve teknolojik afetler konusunda mevcut çalışmaların daha da geliştirilebilmesini amaçlamaktadır. TABB sistemi sayesinde üniversiteler, kamu kurum ve kuruluşları, sivil toplum kuruluşları, yerel yönetimler vb. gibi farklı birimlerce yıllar boyunca hazırlanmış, fakat kullanıcıların erişimine açılmamış dokümanlar kullanıma hazır hale getirilmiştir. Sistem kullanıcıları; afetlerle ilgili yapılan her türlü çalışma, tez, rapor, kitap, sunum, afiş, broşür, poster, doküman, çekilmiş fotoğraf ve videolara tek bir platform üzerinden kolayca ulaşabilmektedir. TABB sistemi; “Doküman” ve “Analiz” olmak üzere 2 modül içerecek şekilde tasarlanmıştır. Analiz Modülü için; istatistiksel bilgiye ihtiyaç duyan araştırmacılara cevap vermek amacıyla DesInventar Türkiye’nin oluşturulmasıyla beraber, TUAA (Türkiye Ulusal Afet Arşivi)’da afetlerle ilgili bulunan veri kaynakları değerlendirilerek, istatistik modülleri ve grafik çizdirme seçeneklerine sahip portal genişletilmiştir. Doküman Modülü için ise; kişilerde, kurumlarda ve kütüphanelerde elektronik ortamda bulunan yayınlar yüklenmiş, elektronik ortamda bulunmayan bilgi kaynaklarının ise erişim adresi ve konumu gösterilerek arşivde bulunması sağlanmıştır (AFAD, 2021).

İş Kazası ve Meslek Hastalığı E-Bildirim Sistemi (SGK)

E-bildirim sistemi; İş Kazası geçiren veya meslek hastalığına yakalan sigortalı çalışanlar için işverenlerin kanuni olarak bildirmekle yükümlü oldukları elektronik form uygulamasıdır.

İş kazasının 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununun 4 üncü maddesinin birinci fıkrasının;

- a) Hizmet akdi ile bir veya birden fazla işveren tarafından çalıştırılanlar ile kanunun 5 inci maddesi kapsamında kısa ve uzun vadeli sigortalı sayılanları çalıştıran işveren tarafından, o yer yetkili kolluk kuvvetlerine derhal ve SGK'ya da en geç kazadan sonraki üç işgünü içerisinde,
- b) Köy ve mahalle muhtarları ile hizmet akdine bağlı olmaksızın kendi adına ve hesabına bağımsız çalışanların kendisi tarafından, bir ayı geçmemek şartıyla rahatsızlığının bildirim yapmaya engel olmadığı günden sonra üç işgünü içerisinde, iş kazası ve meslek hastalığı bildirgesi ile doğrudan ya da taahhütlü posta ile SGK'ya bildirilmesi zorunludur.

Yukarıda yer alan (a) bendinde belirtilen süre, iş kazasının işverenin kontrolü dışındaki yerlerde meydana gelmesi halinde, iş kazasının öğrenildiği tarihten itibaren başlamaktadır.

Meslek hastalığının 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununun 4 üncü maddesinin birinci fıkrasının;

- a) Hizmet akdi ile bir veya birden fazla işveren tarafından çalıştırılanlar ile kanunun 5 inci maddesi kapsamında kısa ve uzun vadeli sigortalılar bakımından, sigortalının meslek hastalığına tutulduğunu öğrenen veya bu durum kendisine bildirilen işveren tarafından,
- b) Köy ve mahalle muhtarları ile hizmet akdine bağlı olmaksızın kendi adına ve hesabına bağımsız çalışanların ise kendisi tarafından, bu durumun öğrenildiği günden başlayarak üç işgünü içerisinde, iş kazası ve meslek hastalığı bildirgesi ile Kuruma bildirilmesi zorunludur.

İş Sağlığı ve Güvenliği Bilgi Yönetim Sistemi (İBYS)

İSG alanında hem T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı hem de ilgili kurum/kuruluşlara sağlanacak karar destek sisteminin ön hazırlığının oluşturulması ve mevcut verilerin anlamlandırılması amacıyla geliştirilmiştir.

Sistemin, İSG alanında işyerlerinden elde edilecek veriler ve halihazırda elde edilmiş veriler ışığında bütünleşik bir bakış açısıyla önleyici bir strateji geliştirilebilmesine imkan vermesi planlanmıştır. Sistemin; sektör özelinde ve bölgesel farklılıklar kapsamında ele alınması gereken önlemlerin önceliklendirilmesine büyük katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Söz konusu sistem ile sektör ve bölgeye özgü veri toplama sürecine başlanmıştır.

Büyük Kaza Raporlama Sistemi (Major Accident Reporting System - MARS)

AB Ortak Araştırma Merkezi bünyesindeki Büyük Kaza Tehlikeleri Ofisi (Major Accident Hazards Bureau - MAHB) tarafından yönetilen Büyük Kaza Raporlama Sistemi (Major Accident Reporting System - MARS) SEVESO Direktifleri kapsamındaki raporlama ihtiyacı karşılamak amacıyla geliştirilmiş bilgi sistemidir. Endüstriyel kazaların standart bir formatta raporlanmasını sağlanması ve bu kazalara ait bilgilerinin yayınlanması amacıyla AB üyesi ülkelerin yanında OECD ülkeleri ve Endüstriyel Kazaların Sınır Aşırı Etkileri Anlaşması (TEIA) kapsamında anlaşmaya taraf olan ülkeler tarafından da bu sistem halihazırda kullanılmaktadır. Sistem, kaza bildirimi için kullanılan ve büyük bir çoğunluğu kısa metin şeklinde doldurulan özet niteliğinde olan kaza bilgileri ile kazanın oluş şekli ve kaza sonuçlarının tamamen incelendikten sonra hazırlanan detaylı kaza analizlerini de içermektedir (Girgin vd., 2017).

OFDA/CRED Acil Durumlar Veri Tabanı (EM-DAT)

1988 yılından itibaren; Belçika Catholique de Louvain Üniversitesi, Afet Epidemiyolojisi Araştırma Merkezi (Center for Research on Epidemiology of Disasters – CRED) tarafından yürütülen ve ABD Dış Afet Yardımı Ofisi (Office of U.S. Foreign Disaster Assistance – OFDA) tarafından da desteklenmekte olan Acil Durumlar Veri Tabanı (EM-DAT), doğal ve teknolojik afetler ile ilgili en kapsamlı bilgi içeren kaynaklardan biridir. Veri tabanının asıl amacı, ulusal ve uluslararası düzeyde insani yardım organizasyonlarına istatistiki bilgi sağlamaktır. Veri tabanı 1900’lü yıllardan itibaren dünya genelinde gerçekleşmiş olan 18.000’den fazla doğal ve teknolojik afet ile ilgili bilgi içermektedir. (Girgin vd., 2017).

Veri tabanı içerisinde; ülke, tarih, afet türü, ölü, yaralı, evsiz kalan ve etkilenen kişi sayıları ile tahmini hasar miktarı kullanıcılar tarafından ulaşılabilen bilgiler arasında yer almaktadır. Veri tabanında yer alan afetler; doğal ve teknolojik olarak iki bölüme ayrılmaktadır. Teknolojik afetler ise üç alt sınıfta ele alınmıştır. Bunlar (Girgin vd., 2017):

1. Endüstriyel kaynaklı ve/veya sanayi kuruluşlarında meydana gelen kazalar,
2. Hava, kara ve deniz araçları ile mekanize taşımacılık kapsamında oluşan kazalar,
3. Endüstriyel veya taşımacılık dışında, yerleşim alanları gibi yerlerde yaşanan teknolojik kaynaklı diğer kazalar.

Afetlerin EM-DAT veri tabanında yer alabilmesi için aşağıdaki dört kriterden en az bir tanesini karşılaması gerekmektedir (Girgin vd., 2017):

- 10 veya daha fazla sayıda ölüm meydana gelmiş olması,
- 100 veya daha fazla sayıda etkilenen kişi olması,
- Acil durum ilan edilmesi,
- Uluslararası yardım çağrısı yapılmış olması.

Teknolojik Afetler Listesi (Awareness and Preparedness for Emergencies at a Local Level – APELL)

Acil Durumlar için Yerel Düzeyde Farkındalık ve Hazırlık – APELL, Birleşmiş Milletler Çevre Programı (UNEP) tarafından hükümetler ve sanayi kuruluşları ile birlikte hazırlanmış, teknolojik kazalar ve çevresel felaketlerin oluşumunu ile zararlı etkilerinin en aza indirilmesini hedefleyen bir programdır. Tehlikeli kimyasal kaynaklı meydana gelen teknolojik afetleri içeren bir liste program içerisinde yer almaktadır (Girgin vd., 2017).

1970-1989 yıllarını kapsayan ve OECD tarafından 1991 yılında yayımlanmış olan bir liste, program listesinin temelini oluşturmaktadır. Bir kazanın APELL listesinde yer alabilmesi için aşağıda yer alan dört kriterden en az bir tanesini karşılaması gerekmektedir (Girgin vd., 2017):

- 25 veya daha fazla sayıda ölüm meydana gelmiş olması,
- 125 veya daha fazla sayıda yaralanan olması,
- 10.000 veya daha fazla tahliye gerektirmiş olması,
- 10.000 veya daha fazla kişinin sudan yoksun kalması.

ABD Kimyasal Güvenlik Kurulu (CSB)

Federal bir kuruluş olan Amerika Birleşik Devletleri Kimyasal Güvenlik Kurulu (CSB) (www.csb.gov) 1990’da yetkilendirilmiş ve 1998 yılının Ocak ayında faaliyetlerine başlamıştır. CSB “Olaya neden olan şartları ve koşulları tespit etmek ve benzer olayların önüne geçilebilmesi için neden ya da nedenleri tanımlamak amacıyla endüstriyel kimyasal kuruluş kazalarında inceleme yapmakla” görevlidir. CSB bugüne kadar 130’dan fazla kimyasal kazayı incelemiş ve bu kazalara dair 800’den fazla tavsiyede bulunmuştur. Bu tavsiyeler, endüstri kuruluşlarına, standart geliştiren organizasyonlara, akademisyenlere, acil durum müdahale birimlerine, çalışan sendikalarına, federal ve eyalet ajanslarına yapılmıştır. CSB tarafından gerçekleştirilen incelemeler tamamlandığında www.csb.gov adresinden ücretsiz olarak indirilebilen bir son rapor yayınlanmaktadır. CSB tarafından incelenen ilk kazalardan birinde, kazanın çok karmaşık olması sebebiyle, kazanın nasıl olduğunu tarif etmek için yüksek çözünürlükte bir animasyon videosu hazırlanmıştır. CSB bu uygulamaya daha sonra da devam etmiş ve bugüne kadar 89 video yayınlamıştır. Bu videolar CSB’nin web sitesinden çevrimiçi olarak izlenebilmektedir (ÇASGEM, 2020).

2.2. Ulusal ve Uluslararası Mevzuat

Endüstriyel kuruluşlara yönelik ulusal ve uluslararası mevzuat bilgileri bu bölümde açıklanmıştır.

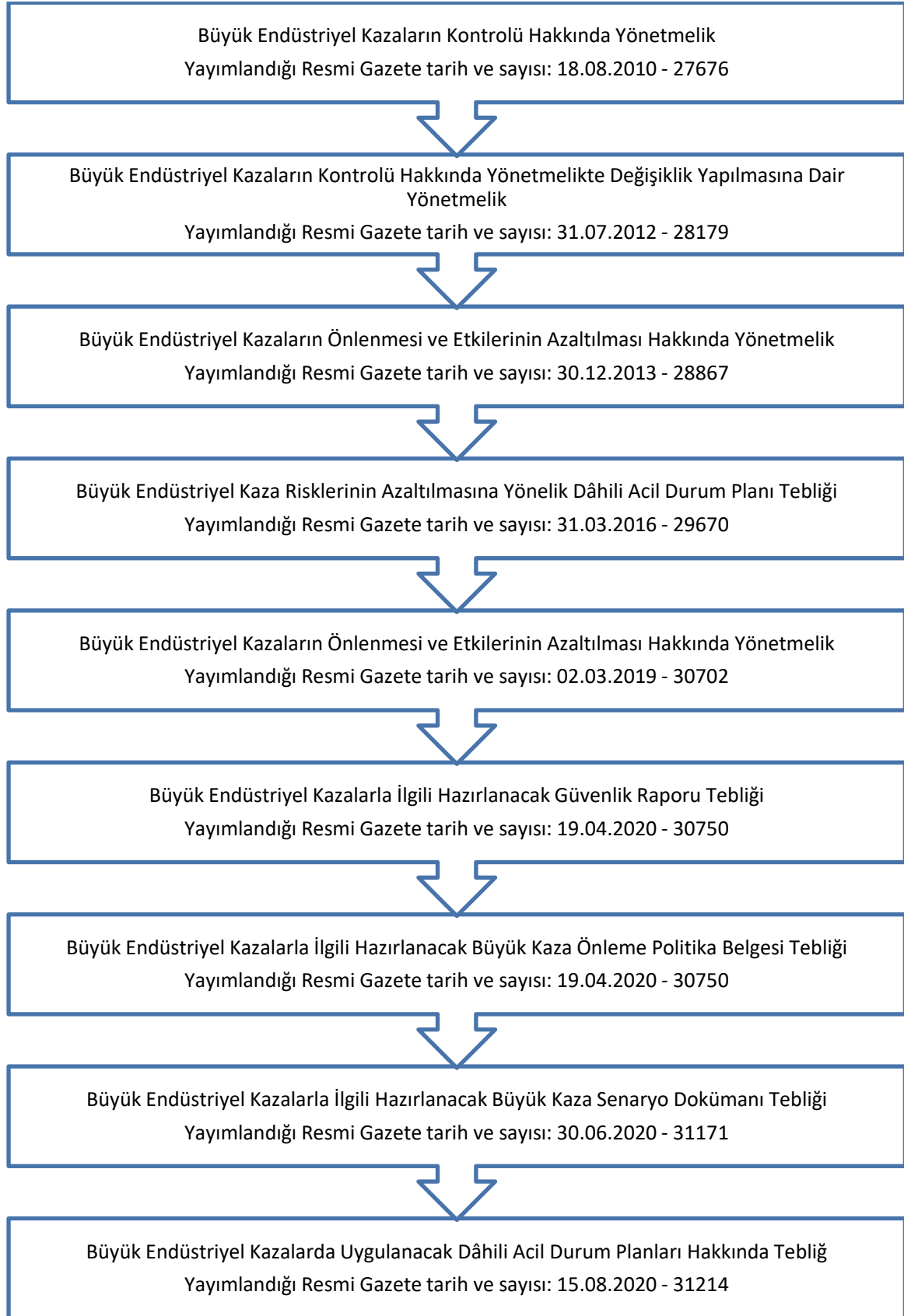
2.2.1. Ulusal mevzuat

Ülkemizde her geçen gün istihdam olanakları artarken, sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı sağlayabilmek, iş kazaları ve meslek hastalıklarını önleyebilmek, işyerlerini daha verimli hale getirebilmek ve çalışanların daha güvenli ve huzurlu ortamlarda çalışmalarını sağlayabilmek amacıyla 30 Haziran 2012 tarihinde 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu yürürlüğe girmiştir. Bu kanun ile iş sağlığı ve güvenliğinde kuralcı yaklaşım yerine önleyici bir yaklaşımı benimsenmiştir. Tüm çalışanlar (istisnalar hariç) ile faaliyet konularına bakılmaksızın kamu ve özel tüm işyerleri Kanun kapsamındadır.

6331 sayılı Kanun yayımlandıktan sonra İSG alanında tüm sektörlerle yönelik mevzuat çalışmaları da kanunun yayımı sonrasında hız kazanmış ve 40’a yakın yeni yönetmelik yayımlanmıştır.

Endüstriyel kazalara yönelik olarak yayımlanan en son yönetmelik “Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik” adıyla 2 Mart 2019 tarihinde olarak 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, 2872 sayılı Çevre Kanunu ve Tehlikeli Maddeleri İçeren Büyük Kaza Risklerinin Kontrolüne İlişkin AB Konseyi Direktifi de dikkate alınarak ülkemizde yayımlanmış ve yürürlüğe girmiştir.

Bu süreçte Türkiye’de, AB mevzuatının uyumlaştırılmasına ilişkin atılan adımlar ve bu kapsamda yayımlanan yönetmelik ve tebliğler Şekil 2.1’de gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Büyük endüstriyel kazalara ilişkin yayımlanan yönetmelik ve tebliğler

2.2.2. Uluslararası mevzuat

Ulusal mevzuatı incelediğimizde kimyasalların güvenli kullanımıyla ilgili düzenlemelerinin yanında endüstriyel kuruluşlarda güvenli çalışma ile ilgili düzenlemelerin de yapıldığını görmekteyiz. Seveso kazası ve öncesinde yaşanan kazaların Seveso direktifleri olarak da adlandırılan yasal mevzuatın çıkışını hızlandırmıştır. Bu kapsamda ilk mevzuat düzenlemesi;“Tehlikeli Maddelerin Sınıflandırılması, Paketlenmesi ve Etiketlenmesi Direktifi” adıyla 27 Haziran 1967 tarihinde 67/548/EEC sayı ile yayımlanmıştır. Direktif yayımlandıktan sonra İtalya’nın Seveso kasabasında 1976 yılında endüstriyel kaza ve sonucunda dioksin salınımı meydana gelmiştir. Olaydan yaklaşık 40 bin kişi etkilenmiş, etkilenenlerin bir kısmı hemen ölmüş, bir kısmında ise ağır derecede cilt yanıkları olmuş, geri kalanlar ise yüksek oranda kanser riskine maruz kalmıştır (Vesilind vd., 2012).

Seveso kazasının ardından endüstriyel kuruluşlarda meydana gelen kazalar sonucunda yaşanan ölüm ve yaralanma vakaları ve mevcut önlemlerin bu kazaları önlemede yetersiz kalmasından dolayı AB ülkeleri tarafından 1982 yılında Seveso I olarak ta bilinen 82/501/EEC sayılı AB Direktifi kabul edilmiştir. Direktifin etkin bir şekilde uygulanması ve kapsamının genişletilmesi amacıyla; çevrenin korunmasına yönelik ek şartlar, gelişmiş arazi kullanım planlaması, yeni yönetim sistemleri, kamu otoritelerinin bilgiye erişimini kolaylaştırıcı hükümler ve denetim başlıkların eklenmesi ile 1996 yılında 82/501/EEC sayılı direktif yeniden düzenlenmiş ve Seveso II Direktifi olarak ta bilinen 96/82/EC sayılı “Tehlikeli Maddelerle İlgili Büyük Kaza Risklerinin Kontrolüne İlişkin Direktif” kabul edilmiştir (Doğan, 2015).

Bundan sonraki süreçte ise tehlikeli maddelerin ve karışımların farklı tanımlanması, sınıflandırması, paketlenmesi ve etiketlenmesinden kaynaklanan karışıklıkların giderilmesi amacıyla, 1999 yılında 1999/45/EC sayılı “Tehlikeli Karışımların Sınıflandırılması, Paketlenmesi ve Etiketlenmesi Direktifi” yayımlanmıştır.

Tüm bu kaza önleme çalışmalarına rağmen 2000 ve 2001 yıllarda Enschede havai fişek üretimi yapan bir fabrikada ve Toulouse amonyum nitrat üreten başka bir fabrikada meydana gelen patlamalar sonucu yaşanan felaketler nedeniyle AB Komisyonu Seveso II direktifinin tekrar gözden geçirilmesini kararlaştırmıştır (Vince, 2011).

Enschede ve Toulouse’da meydana gelen kazaların ardından Seveso II direktifinin kapsamı genişletilmiş ve görülen aksaklıkların çözümü için ek çalışmalar yapılarak 16 Aralık 2003 tarihinde 2003/105/EC sayılı AB direktifi yayımlanmıştır. Yayımlanan bu direktif ile Seveso II direktifindeki yanıcı ve patlayıcı maddelere amonyum nitrat ta dahil edilmiş, kurallar güncellenerek daha da katılaştırılmıştır. Ayrıca daha önceki düzenlemelerde kapsam dışında olan kuruluşlar da bu direktif ile alt seviyeli kuruluşlar olarak belirlenmiş, alt ve üst seviyeli kuruluşlar arasında da bazı yer değişikliklerinin yapılması planlanmıştır (Doğan, 2015).

Gelinen süreçte 31 Aralık 2008 tarihinde 1272/2008 sayılı “Maddelerin ve Karışımların Sınıflandırılması, Etiketlenmesi ve Ambalajlanması” (CLP) direktifi yayımlanmış, bu direktif ile 67/548/EEC Tehlikeli Maddeler Direktifi, 1999/45/EC Tehlikeli Karışımlar Direktifi ve 1907/2006/EC sayılı Tüzükte Değişiklik Yapılmasına Dair Yönetmelik yayımdan kaldırılmıştır (Doğan, 2015). CLP/1272/2008 sayılı direktifle Kimyasalların Kaydı, Değerlendirilmesi, Ruhsatlandırılması ve Kısıtlanması (REACH) tüzüğü kapsamında maddelerin sınıflandırılması yapılmıştır.

Avrupa Komisyonunca, sektörde yaşanan problemlerin çözümü ve yaşanan uygulama sorunlarının giderilmesi ile bu mevzuatın diğer direktiflerle uyumunu güçlendirmek için 4 Temmuz 2012 tarihinde, 2012/18/EU sayılı Seveso-III Direktifi kabul edilmiştir. Bu değişikliğin temel nedeni; 27 Haziran 1967 tarihinden itibaren yürürlükte olan ve sıklıkla değiştirilen 67/548/EEC sayılı Tehlikeli Maddeler Direktifi’nin yerini CLP (Classification, Labelling and Packaging) Tüzüğü’nün almasıdır.

2.3. Kök Neden Analizleri

Endüstriyel kuruluşlarda meydana gelen kazalar geri dönülemez hasarlara yol açmaktadır. Bu kazaların önlenmesi için kazaların kök nedenlerinin analiz edilmesi oldukça önemlidir. Endüstriyel kazaları, çözülmesi gereken bir problem, bir zorluk hali olarak da ele alabiliriz.

Bir problem genellikle farklı düzeylerde birden çok nedenden kaynaklanmaktadır. Bu yüzden, bir problemi çözmeye çalışırken; problemin nedenini (veya nedenlerini) belirlemeli ve bu nedenleri ortadan kaldırmanın ve tekrar etmesini engellemenin yolları bulunmalıdır.

Nedenler belirlendikten sonra, onları ortadan kaldırmak genellikle çok daha kolay bir iş haline gelmektedir. Probleme sebep olan nedenler aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir (Andersan vd. 2006):

- Belirtiler (Semptomlar): Bunlar gerçek nedenler olarak değil, daha çok mevcut problemin belirtileri olarak görülür.
- Birinci düzey nedenler: Doğrudan bir probleme yol açan nedenler.
- Daha yüksek düzeyli nedenler: Birinci düzey nedenlere yol açan nedenlerdir. Üst düzey nedenler, doğrudan probleme neden olmamakla birlikte, sonucunda problemi ortaya çıkaran neden-sonuç ilişkileri zincirinde bağlantılar oluşturur.

Bazı problemlerin genellikle, birden fazla nedeni vardır. Bir problemin en üst düzey nedenine “kök neden” denmektedir. Kök neden, problem/problemlere neden olan tüm neden-sonuç zincirini harekete geçiren “en alttaki kötülüktür” olarak tanımlanmaktadır (Andersan vd. 2006). Yalnızca semptomları ortadan kaldırdığımızda, durum daha da kötüleşebilir. Bu durumda problem hala orada olacak, ancak artık izlenebilecek, kolayca tanınacak bir belirtisi olmayacaktır. Birinci veya daha yüksek düzeydeki nedenleri ortadan kaldırdığımızda ise problemi geçici olarak hafifletebiliriz ancak kök neden yine de kendisini başka bir problem biçiminde göstermenin yolunu bulacaktır. Kök nedeni ortadan kaldırdığımızda ise, problemin tekrar etmesini engellemek için semptomları izlemeliyiz.

Literatür incelendiğinde kök neden analizinin ne olduğuna dair genel kabul görmüş bir tanım karşımıza çıkmamaktadır. Olası tanım ise: bir problemin gerçek nedenini ve onu ortadan kaldırmak için gerekli eylemleri belirlemeyi amaçlayan yapılandırılmış bir araştırma şeklindedir. Kök neden analizi, tek bir araç veya strateji kullanılarak gerçekleştirilemez.

Kök neden analizleri amaçlarına göre 7 alt grupta toplanabilir (Andersan vd. 2006). Bunlar:

1. Problemi anlama
2. Problemin nedenine yönelik fikirleri belirleme
3. Veri toplama
4. Veri analizi
5. Kök neden tanımlama
6. Kök nedenleri ortadan kaldırma/giderme
7. Çözüm uygulama

1. Problemi anlama

Kök neden analizinin doğru uygulanabilmesi için önce sorun anlaşılmalıdır.

Problemi anlama araçları aşağıdaki şekildedir:

- a) Akış şemaları (Flowcharts): İş süreçlerinin “resmini çizmek” için kullanılan şemalardır.
- b) Kritik olay (Critical incident): Bir durumdaki en kritik konuları keşfetmek için kullanılan bir yaklaşımdır.
- c) Örümcek şeması (Spider chart): Problemleri karşılaştırmak için kullanılan bir karşılaştırma şemasıdır.
- d) Performans matrisi (Performance matrix): Problemlerin veya nedenlerin önemini belirlemeye yardımcı olmak için kullanılan matristir.

2. Problem nedenine yönelik fikirlerin belirlenmesi

Çözmeye çalıştığımız soruna neyin neden olduğu konusunda genellikle bir şüphe vardır. Ancak hipotezin test edilmesinde acele edilmemeli önce diğer olası nedenler düşünülmelidir.

Problem nedenine yönelik fikirlerin belirlenmesi araçları aşağıdaki şekildedir:

- a) Beyin fırtınası (Brainstorming): Birden fazla fikir gerektiğinde kök neden analizi boyunca uygulanabilecek resmi bir yaklaşımdır.
- b) Beyin yazısı (Brainwriting): Aslında, yazılı bir beyin fırtınası oturumudur.
- c) Öyle-değil matrisi (Is-is not matrix): Bir problemdeki ilgili faktörleri olmayanlardan ayırmaya yardımcı olan bir matris aracıdır.
- d) Nominal grup tekniği (Nominal group technique): Bir grubun olası problem nedenleri gibi farklı alternatiflere öncelik vermesine yardımcı olmak için kullanılan bir tekniktir.
- e) Eşleştirilmiş karşılaştırmalar (Paired comparisons): Katılımcıların iki rakip alternatifin çiftleri arasında seçim yapmalarına izin vererek fikir birliğine varmak için kullanılan bir tekniktir.

3. Veri toplama

Rastgele problem çözme yöntemleri ile kök neden analizi arasındaki en önemli bir ayrım, verilerin toplanma ve kullanılma kapsamıdır. Bu nedenle, geçerli ve güvenilir verilerin sistematik olarak toplanması, kök neden analizinde önemli bir faaliyettir.

Veri toplama araçları aşağıdaki şekildedir:

- a) Örneklem (Sampling): Yalnızca küçük bir örnek toplayarak büyük bir popülasyon hakkındaki verileri tahmin etmek için kullanılır.
- b) Anketler (Surveys): Müşterilerden, çalışanlardan vb.den görüşler ve tutumlar hakkında veri toplamak için kullanılır.
- c) Kontrol Sayfaları (Check Sheet): Veri toplama dönemi boyunca uygulanan, önceden tanımlanmış sayfalara dayalı olarak verileri sistematik olarak toplayan kullanışlı bir yaklaşımdır.

4. Veri analizi

Olası nedenler sorunla nasıl bağlantılı ve en çok hangi nedenler zarar veriyor? Soruna neden olan “veri analizi” aşamasının amacı olası nedenleri açıklığa kavuşturmadır.

Veri analizi araçları aşağıdaki şekildedir:

- a) Histogram (Histogram): Bir veri dağılımının sütun grafiğiyle gösterimidir.
- b) Pareto grafiği (Pareto chart): Hangi nedenlerin en fazla etkiyi oluşturduğunu göstermek için kullanılan görsel bir araçtır.
- c) Serpilme grafiği (Scatter chart): İki değişkenin bir arada incelenmesi için çizilen grafiklerdir. Değişkenlerden birinin değerleri yatay, diğer değişkenin değerleri de düşey ekseninde gösterilir. Problem, iki neden arasındaki ilişkileri göstermek için kullanılır.
- d) Problem konsantrasyon diyagramı (Problem concentration diagram): Bir yer veya sistemin düzenini veya yapısını haritalayan ve sorunların nerede ortaya çıktığını belirlemek için kullanılan görsel bir diyagramdır.
- e) İlişkiler diyagramı (Relations diagram): Karmaşık veya kafa karıştırıcı bir durumda farklı fikirler veya sorunlar arasındaki mantıksal ilişkileri tanımlamak için kullanılan bir araçtır.
- f) Afinite (Yakınlık) diyagramı (Affinity diagram): Karmaşık, ilgisiz, açık fikirleri, nedenleri veya diğer kavramları ilişkilendirmeye yardımcı olan bir diyagramdır.

5. Kök neden tanımlama

Önceki dört aşamada oluşturulan ve analiz edilen olası nedenler listesinden, artık kök neden belirlenmeye hazırdır. Süre ve karmaşıklık açısından, bu aşama en zor ve / veya en uzun süren aşamadır.

Kök neden tanımlama araçları aşağıdaki şekildedir:

- a) Neden-sonuç diyagramı / Ishikawa diyagramı / Balık kılçığı (Cause-and-effect chart): Bir problemin olası nedenlerini analiz etmek için kullanılan, kolayca uygulanan bir araçtır.
- b) Matris diyagramı (Matrix diagram): Faktörler arasındaki ilişkileri saptamak ve aralarındaki nedensel ilişkileri analiz etmek için kullanılan görsel bir tekniktir. Bu nedenle diyagram, farklı olası nedenlerden hangisinin bir probleme en çok katkıda bulunduğunu belirlemek için kullanılabilir.
- c) Beş neden tekniği (Five whys): Nedensel ilişkileri daha da derinlemesine araştırmak için kullanılan bir yaklaşımdır.
- d) Hata ağacı analizi (Fault tree analysis): Bir sistemde, üründe veya iş sürecinde sorunların ortaya çıkabileceğini tahmin etmek ve bunların ilerisine bakmak için bir araçtır.

6. Kök nedenlerin ortadan kaldırılması

Önceki aşamalar, sorunu ve olası nedenlerini anlamaya yönelik analitik çabalarla karakterize edilirken, bir çözüm bulmak daha özgün bir çaba gerektirir.

Kök nedenlerin ortadan kaldırılması araçları aşağıdaki şekildedir:

- a) Altı düşünme şapkası (Six thinking hats): İnsanları bakış açılarını değiştirmeye ve farklı rollere göre düşünmeye zorlayan bir tekniktir.
- b) Yaratıcı problem çözme teorisi (TRIZ) (Theory of inventive problem solving): Bir problem için bilinen standart mühendislik çözümlerinden farklı çözümler üretmeye dayalı bir tekniktir.
- c) Sistematik yaratıcı düşünme (SIT) (Systematic inventive thinking): Bir probleme ve bileşenlerine yaklaşmak için dört ilke içeren, TRIZ üzerinde daha da ileri giden bir araçtır.

7. Çözüm uygulama

Son bölümde kök nedeni belirlemek ve ortadan kaldırmak aşamalarından sonra kuruluştan nasıl değişiklik yapılacağı hakkında çözüm uygulama aşamasına odaklanılabilir.

Çözüm uygulama araçları aşağıdaki şekildedir:

- a) Ağaç diyagramı (Tree diagram): Bir iyileştirme uygulamasını planlamak için kullanılır.
- b) Güç alanı analizi (Force-field analysis): Bir iyileştirme uygulaması tarafı olan ve karşısında çalışan güçleri tanımlamak için kullanılır.

2.4. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri

İnsanoğlu, hayatı boyunca her alanda karar verilmesini gerektiren ve çoğu kez birden fazla kriteri içeren olaylar ve problemler ile karşı karşıya kalabilmektedir. Bu olay ve problemlerin çözümüne karar verilirken de genelde birden çok faktörün bir arada değerlendirilmesi gerekmektedir. Karar verme aşamasında, alternatifler arasından seçim yapılırken dikkate alınan kriterlerin hepsinin alınan karar üzerindeki ağırlığı aynı değildir. Bu ağırlıklar çoğu kez karar vericiye göre değişebilmektedir. Bu nedenle, genellikle bu tür problemlerin kesin bir çözümü yoktur. Diğer bir deyişle, alternatif çözümlerden hiç birisi, belirlenen tüm kriterlere göre en iyi çözüm değildir. Birden fazla kriter dikkate alınarak, alternatifler arasından en uygun olanın seçilmesi ya da alternatifleri sıralama problemleri çok kriterli problemler olarak adlandırılmaktadır. Kişisel seçim problemlerinden, ekonomik, endüstriyel, finansal, politik karar problemlerine kadar geniş bir yelpazede somut ve soyut ölçütlere veya niteliklere göre karar verirken en iyisini seçmek ve birden fazla kriterin bulunduğu durumlarda karar verilmesini sağlamak için çok kriterli karar verme (ÇKKV) yöntemleri kullanılmaktadır.

Literatürde birden fazla ÇKKV yöntemleri bulunmaktadır. Bunlardan en sık kullanılanları Çizelge 2.3.'te gösterilmiştir (Özden, Ü. 2018).

Çizelge 2.3. ÇKKV Yöntemleri ve Kullanım Sıklıkları

Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri	Frekans	%
AHP	128	33%
Hibrit ÇKKV	64	16%
Birleşik ÇKKV	46	12%
TOPSIS	45	11%
ELECTRE	34	9%
ANP	29	7%
PROMETHEE	26	7%
VIKOR	14	4%
DEMATEL	7	2%
Toplam	393	100%

2.4.1. Analitik hiyerarşi prosesi (AHP)

1970’li yılların başında tasarlanan AHP, nitel ve nicel değişkenlerin analiz edilmesi ile çok kriterli problemleri çözmeye yarayan bir yöntemdir (Saaty, 1986). AHP, çok kriterli problemleri hiyerarşik yapıda modelleyerek problemi oluşturan ana ve alt kriterler ile alternatifler arasında ilişkileri ortaya çıkarmaktadır (Dinçer vd. 2011). AHP analizinde problemi oluşturan ana ve alt kriterlerin önem dereceleri hesaplanarak boyut indirgemesi yapılmaktadır. Elde edilmesi beklenen sonuçlara, en iyi kriterin dahil edilebilmesini sağlayarak kriterleri önem sırasına göre listelemeye imkan tanımaktadır (Turan, G., 2015). AHP analizinde karar verilirken problem konusunda tecrübeli birden fazla kişinin görüşü hesaplamalarda kullanılmaktadır.

AHP analizi ile problem çözme aşamaları aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Önder, E. ve Yıldırım, B. F., 2021):

1. Karar verilecek probleminin tanımlanarak amacın belirlenmesi,
2. Amaç için gerekli olan karar kriterlerinin belirlenmesi,
3. Elde edilmesi muhtemel karar alternatiflerinin oluşturulması,
4. Karar verilecek probleminin hiyerarşik yapısının oluşturulması,
5. Hiyerarşik yapının her seviyesinde kriterlerin ikili karşılaştırılmasının yapılması ve özdeğer vektörlerinden faydalanarak kriterlerin önem derecelerinin belirlenmesi,
6. Her bir kritere göre alternatiflerin ikili karşılaştırılmasının yapılması ve önceliklerinin hesaplanması,
7. İkili karşılaştırmaların uyum oranının hesaplanması,
8. Göreceli ağırlıklarına göre alternatiflerin sıralanarak en yüksek değer sahip alternatifin seçilmesi,
9. Duyarlılık analizlerinin gerçekleştirilmesi.

AHP analizinde kullanılan önem skalası Çizelge 2.5.’te verilmiştir (Saaty, 1990).

Çizelge 2.4. AHP Analizinde Kullanılan Önem Skalası

Önem Skalası	Dilsel İfade	Önem Açıklaması
1	Eşit Önem	Her iki kriter eşit derecede öneme sahiptir.
3	Biraz Önemli	Bir kriter diğerine karşı biraz önemlidir.
5	Fazla Önemli	Bir kriter diğerine karşı fazla önemlidir.
7	Çok Fazla Önemli	Bir kriter diğerine karşı çok fazla önemlidir.
9	Son Derece Önemli	Bir kriter diğerine karşı çok büyük oranda önemlidir.
2,4,6,8	Ara Önem Dereceleri	Ara değerlendirme rakamlarıdır.

AHP analizi, aşağıdaki bazı üstün yönleri ile sıkça tercih edilmektedir (Ayçin, 2019):

- Karar vericilerin kişisel tercihlerini göz önünde bulundurarak çözüm oluşturabilmesi,
- Birden çok ana ve alt kriterin karar verme problemlerinde kullanılabilmesi,
- Hesaplama yapılmasının kolaylığı,
- Birden çok karar vericinin ortak karar vermesine olanak sağlaması,
- Karmaşık görülen problemleri, hiyerarşik bir yapıda sunarak problemi kolaylaştırması.

AHP analizinin matematik altyapısı

Ana ve alt kriterlerin ağırlıkları (w) ikili karşılaştırmalar neticesinde elde edilmektedir. Bu yöntemde karar vericilerin sayısal karşılaştırma yapmaları zorunlu değildir. Dilsel kıyaslamalar da kullanılabilir. Literatüre baktığımızda ikili karşılaştırmalarda genellikle Saaty'nin 1-9 değerleri arasındaki skalası kullanılmaktadır. Karşılaştırma matrislerinde köşegenler 1 değerini almaktadır. Bunun nedeni de kriterin kendisi ile karşılaştırılmasıdır (Önder ve Yıldırım, 2021).

Yöntemde kullanılan kriterler $a_1, a_2, \dots, a_n$, ağırlıkları ise $w_1, w_2, \dots, w_n$ olacak şekilde n adet kriterin göreceli önem ağırlıklarına göre ikili karşılaştırılması istenirse ikili karşılaştırma matrisinin genel yapısı Eşitlik 2.1.'deki şekilde olacaktır.

$$A = \begin{bmatrix} a_{11} & \dots & a_{1j} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{i1} & \dots & a_{ij} & \dots & a_{in} \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nj} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (2.1)$$

Burada $a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}}$ (karşılık olma özelliğine göre) ve $a_{ij} = \frac{a_{ik}}{a_{jk}}$ olmaktadır.

Gerçek problemlerde genellikle $\frac{w_i}{w_j}$ sonucu bilinmemektedir. Bu yüzden AHP’de çözülmesi gereken $a_{ij} \cong \frac{w_i}{w_j}$ olacak şekilde a_{ij} değerinin bulunabilmesidir (Önder ve Yıldırım, 2021).

Ağırlık matrisinin genel formu Eşitlik 2.2.’deki şekildedir.

$$W = \begin{matrix} w_1 \\ \vdots \\ w_i \\ \vdots \\ w_n \end{matrix} \begin{bmatrix} w_1 & \dots & w_j & \dots & w_n \\ w_1/w_1 & \dots & w_1/w_j & \dots & w_1/w_n \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_i/w_1 & \dots & w_i/w_j & \dots & w_i/w_n \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_n/w_1 & \dots & w_n/w_j & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \quad (2.2)$$

W ve w değerlerini birbiri ile çarpılarak Eşitlik 2.3. elde edilir.

$$W \cdot w = \begin{matrix} w_1 \\ \vdots \\ w_i \\ \vdots \\ w_n \end{matrix} \begin{bmatrix} w_1 & \dots & w_j & \dots & w_n \\ w_1/w_1 & \dots & w_1/w_j & \dots & w_1/w_n \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_i/w_1 & \dots & w_i/w_j & \dots & w_i/w_n \\ \vdots & & \vdots & & \vdots \\ w_n/w_1 & \dots & w_n/w_j & \dots & w_n/w_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_i \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = n \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_i \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Eşitlik 2.3. te elde edilen denklem aynı zamanda Eşitlik 2.4.’deki şekilde de gösterilmektedir.

$$(W - nI)w = 0 \quad (2.4)$$

Bu denklemin çözümü özdeğer bulma problemidir. Nispi ağırlıkları $Aw = \lambda_{Maks}w$ denklemini sağlayan λ_{Maks} esas alınarak bulunan w özvektörü ile hesaplanmaktadır. Burada λ_{Maks} A matrisinin en büyük özdeğeri olup w özvektörü λ_{Maks} bağlı olarak $(A - \lambda_{Maks}I)w = 0$ denklemi elde edilmektedir (Yıldırım ve Önder, 2021).

Bunun yanı sıra subjektif algıların tutarlılığını ve göreceli ağırlıkların doğruluğunu belirlemek için Tutarlılık İndeksi (CI) ve Tutarlılık Oranı (CR) olmak üzere iki katsayı kullanılmaktadır. Tutarlılık İndeksi (CI) Eşitlik 2.5.’deki şekilde hesaplanabilmektedir.

$$CI = \frac{(\lambda_{Maks} - n)}{(n-1)} \quad (2.5)$$

Yukarıdaki denklemde λ_{Maks} en büyük özdeğer olup n ise toplam kriter sayısıdır. Sonuçların güvenilir olabilmesi için CI değerinin 0,1’i aşmaması gerekmektedir.

Tutarlılık oranının hesaplanması ise Eşitlik 2.6.’daki formül ile yapılmaktadır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \quad (2.6)$$

Yukarıdaki eşitlikte RI “Rastgele Değer İndeksi”ni temsil etmektedir. Rastsal olarak üretilen karşılıklı kıyaslama matrisinin büyük örneklemeden elde edilmiştir. Burada kullanılan ölçek $1/9, 1/8, 1/7, 1/6, \dots, 1, \dots, 6, 7, 8, 9$ ölçeğidir. Farklı kriter sayılarına göre elde edilmiş RI değerleri Çizelge 2.5.’de gösterilmektedir (Yıldırım ve Önder, 2021).

Çizelge 2.5. Rastgele Değer İndeksi

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Rastgele Değer İndeksi (RI)	0	0	0,52	0,89	1,11	1,25	1,35	1,40	1,45	1,49	1,54	1,54

Güvenilir ve gerçekçi sonuçlar için tutarlılık oranının (CR) 0,1’in altında olması gerekmektedir.

3. LİTERATÜR ARAŞTIRMASI

Literatür araştırması, kazaların veri analizine, endüstriyel kazaların kök neden analizine ve çok kriterli karar verme analizlerine yönelik çalışmalar olmak üzere üç başlık altında incelenmiştir.

3.1. Kazaların Veri Analizine Yönelik Çalışmalar

Gul vd. (2021) tarafından yapılan bir alüminyum levha üretim kuruluşunda gerçekleştirilen çalışmada karar matrisi risk değerlendirme (DMRA) tekniğinin, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) risk değerlendirmesinde yaygın olarak kullanılan sistematik bir yaklaşım olduğu belirtilmiştir. Tipik bir matris yöntemi yaklaşımında, bir tehlikenin olasılığı ve şiddeti olarak iki risk faktörü değerlendirilerek bir risk skoru elde edilmektedir. Bu çalışmada, İSG uzmanlarının matris yönteminin parametreleri olan iki faktörü değerlendirmek için sözel değişkenleri kullanmalarına olanak tanıyan bulanık bir yaklaşım, net bir risk skoru hesaplamasının eksikliklerini gidermek ve karar vermedeki tutarsızlığı azaltmak için önerilmiştir. Kuruluştaki tehlikelere ilişkin olasılık ve şiddet parametreleri Bulanık Analytic Hierarchy Process (FAHP) kullanılarak ağırlıklandırılmış, ardından Bulanık TOPSIS (Technique for Order Preference by Similarity) kullanılarak 23 farklı tehlike grubunun öncelik sıraları belirlenmiştir. Daha sonra, kuruluşun her bir bölümünde tehlike türleri için önerilen risk değerlendirme metodolojisi uygulanmıştır. Sonuçlar; kuruluş için en önemli üç tehlike grubunun sırasıyla gazlardan boğulma, elektrik çarpması ve nesnelerin düşmesi olduğunu göstermiştir.

Viegas vd. (2020) proses güvenliği için çok kriterli bir tehlike ve işletilebilirlik analizi gerçekleştirmişlerdir. ÇKKV yöntemlerinin çeşitli araştırma alanlarında problem çözme için yaygın olarak kullanılmakta olduğunu ve risk analizinde de iyi sonuçlar gösterdiği vurgulanmıştır. Bununla birlikte, risk analizi bağlamında önceki çalışmalarda bulunan boşluklar göz önüne alındığında, bu çalışmada yeni bir ÇKKV tabanlı HAZOP analizi önerilmiş ve uygulanmıştır. Uygulamada 40 tehlike tanımlanmış, ekip tarafından vurgulanan olumlu noktalar; kaynak tasarrufu, daha fazla odaklanma, objektiflik ve daha gerçekçi bir tehlike algısı olarak açıklanmıştır. Özellikle, metodolojinin önceki ilgili makalelerden daha tutarlı ve uygun olduğu belirtilmiştir.

Oz vd. (2019) bir doğal gaz boru hattı projesindeki risk değerlendirmesinde tehlikeleri önceliklendirmek için Pisagor bulanık setleriyle genişletilmiş bir TOPSIS modeli uygulamışlardır. Çalışmada, birincil ve artık riskleri önceliklendirmek için bulanık tabanlı bir risk modeli geliştirilmiştir. Modeli doğrulamak için parametre ağırlıkları üzerinde bir duyarlılık analizi de yapılmıştır. Çalışmanın iki katkısı; risk derecelendirmelerinin nicelleştirilmesinde yeni bir İSG risk değerlendirme yaklaşımının önerilmesi, çalışmanın ana hatlarına bir duyarlılık analizinin dahil edilmesi olarak belirtilmiştir. Ayrıca, modelde önleyici eylem planlarını içeren bir risk değerlendirmesi önerilmiştir.

Gul (2020) tarafından iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesinde Pisagor bulanık AHP ve bulanık VIKOR analizlerinin tabanca ve tüfek namlusu dış yüzey oksidasyonu ve renklendirme ünitesinde uygulandığı bir çalışmada, İSG alanında risk değerlendirmesi için yeni bir yaklaşım önerilmiştir. Gul, Pisagor bulanık AHP (PFAHP) ve bulanık VIKOR'u (FVIKOR) bir risk değerlendirme sürecine entegre etmiştir. Önerilen yaklaşımın sonucunda, karar verme sürecinin belirsizliğini daha iyi temsil eden güvenilir sonuçlar ürettiği ifade edilmiştir.

Singh vd. (2020) kaza oluşum yollarının analizi ve risk kontrol sistemlerinin performans değerlendirmesi için yeni bir veri madenciliği yaklaşımı adlı çalışmalarında mevcut analiz yöntemlerini üç yeni analiz türü ile güncellemiştir. Bunlar; modeller üzerindeki zaman etkisini incelemek için zamansal sık öge seti oluşturma (T-FIG), risk kontrol sistemlerinde risk skorunu incelemek için yükseltilmiş şiddet seti oluşturma (ESIG) ve yüksek riskli kaza oluşum yollarını belirlemek için yüksek etkili öge kümesi oluşturma (High_impact_IG) şeklinde tanımlanmıştır. Her bir analizin sonuçları karşılaştırılmış ve risk kontrol süreçlerinin performansına ilişkin sekiz tür çıkarım yapılmıştır. Önerilen metodoloji, bir çelik üretim kuruluşunda çelik üretim süreci sırasında bildirilen 612 olay kaydına uygulanmıştır. Çalışma sonucunda, etkisiz risk önleme ve azaltma süreçleri olan, yüksek riskli ve gelecekte tekrarlaması muhtemel olan dört kaza oluşum yolu olduğu bulunmuştur. Bu dört yol arasından ikisi, tehlikeli unsur olarak sıcak metal / çelik / cürufu içermekte ve bunlardan üçü de hasarlı / bozulmuş / kötü bakımı yapılan ekipmandan kaynaklanmakta olduğu belirtilmiştir.

Ayrıca, çalışma, önerilen veri madenciliği yaklaşımının, risk kontrol sistemlerinin performans değerlendirmesi ve kaza oluşum yolu analizi için etkili ve kullanımı kolay bir araç olduğunu da göstermiştir.

Çizelge 3.1. Kazaların veri analizine yönelik çalışmaların literatür özet çizelgesi

Referans	Çalışmanın başlığı	Çalışmanın amacı	Çalışmada kullanılan yöntemler	Çalışmada elde edilen sonuçlar
Gul ve Guneri, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2016	Karar matrisi tekniğine dayalı bulanık çok kriterli bir risk değerlendirmesi: Alüminyum endüstrisi için bir vaka çalışması	Matris yönteminin parametreleri olan şiddet ve olasılık faktörlerini değerlendirmek için sözel değişkenlerin kullanılmalarına olanak tanıyan bulanık bir yaklaşım önerilmesi	FAHP, Bulanık TOPSIS	Net bir risk skoru hesaplamasının eksikliklerini gidermek ve karar vermedeki tutarsızlığı azaltmak için yeni bir metodoloji önerilmiştir
Oz vd., Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2019	Bir doğal gaz boru hattı projesinin temizleme ve derecelendirme süreci için risk değerlendirmesi: Tehlikeleri önceliklendirmek için Pisagor bulanık kümeleriyle genişletilmiş TOPSIS modeli	Risk değerlendirmesinde tehlikeleri önceliklendirmek için Pisagor bulanık setleriyle genişletilmiş bir TOPSIS modeli uygulanması ile birincil ve artık riskleri önceliklendirmek için bulanık tabanlı bir risk modeli geliştirilmesi	Pisagor bulanık setleriyle genişletilmiş TOPSIS	Risk derecelendirme lerinin nicelleştirilmes inde yeni bir İSG risk değerlendirme yaklaşımı önerilmiş, çalışmanın ana hatlarına bir duyarlılık analizinin dahil edilmesi önerilmiştir
Viegas vd., Process Safety and Environmental Protection, 2020	Proses güvenliği, Proses Güvenliği ve Çevre Koruma için çok kriterli bir tehlike ve işletilebilirlik analizi	Çok Kriterli Karar Verme yöntemi tabanlı HAZOP analizi gerçekleştirilmesi	SODA, IFS, HAZOP	Kullanılan metodolojinin önceki ilgili makalelerden daha tutarlı ve uygun olduğu belirtilmiştir

Çizelge 3.1. (devam) Kazaların veri analizine yönelik çalışmaların literatür özet çizelgesi

Referans	Çalışmanın başlığı	Çalışmanın amacı	Çalışmada kullanılan yöntemler	Çalışmada elde edilen sonuçlar
Gul, International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 2020	İş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesinde Pisagor bulanık AHP ve VIKOR yöntemlerinin uygulanması: Silah ve tüfek namlusu dış yüzey oksidasyon ve renklendirme ünitesi örneği	Pisagor bulanık AHP ve bulanık VIKOR yöntemlerinin uygulanarak İSG alanında yeni bir risk değerlendirme yaklaşımı önerilmesi	PFAHP, FVIKOR	Önerilen yaklaşımın karar verme süreçlerindeki belirsizliğin azaltıldığı ve güvenilir sonuçlar ürettiği ifade edilmiştir
Singh ve Maiti, Reliability Engineering & System Safety, 2020	Kaza oluşum yollarının analizi ve risk kontrol sistemlerinin performans değerlendirmesi için yeni bir veri madenciliği yaklaşımı	Kaza oluşum yollarının analizi ve risk kontrol sistemlerinin performans değerlendirmesi için yeni bir veri madenciliği yaklaşımı modeli geliştirilmesi	T-FIG, ESIG, HIIG	Önerilen veri madenciliği yaklaşımının, risk kontrol sistemlerinin performans değerlendirmesi ve kaza oluşum yolu analizi için etkili ve kullanımı kolay bir araç olduğu gösterilmiştir

3.2. Endüstriyel Kazaların Kök Neden Analizlerine Yönelik Çalışmalar

Yılmaz vd. (2016) tarafından yürütülen çalışmada, Ülkemizde son yıllarda önleyici İSG hizmetleri ve risk değerlendirmelerinde önemli çalışmalar yapıldığı, ancak teftiş, eğitim, bakım, çalışan katılımı ve işyeri denetimi gibi diğer gerekli önlemlerin yeterince uygulanmadığı belirtilmiştir. İş sağlığı ve güvenliğinin hem endüstriyel hem de kamusal düzeyde bir sistem olduğu, bu sistemin herhangi bir aşamasının yetersiz kalmasının diğer önlemlerin problemi önlenme düzeyini düşüreceğini vurgulamıştır.

Heller vd. (2006) çalışmalarında, risk puanlama / indekisleme ile birlikte ÇKKV yöntemlerinin, öznel ve nesnel yargıları ölçmek için kullanılan yöntemler olduğunu ve insanların sahip olduğu deneyim ve bilginin en az verilerin kendisi kadar değerli olduğu ilkesine göre çalıştığını belirtmişlerdir.

Wang vd. (2013) ÇKKV yöntemleri kullanarak gerçekleştirdikleri kaza analizi modeli çalışmalarında kaza sonrasında etkili önleyici tedbirler almak için kök sebepleri anlamının önemine vurgu yapmışlardır. Ayrıca, kaza kök nedenleri araştırmak ve ilgili önleme tedbirlerini sıralayabilmek için İnsan Faktörleri Analiz ve Sınıflandırma Sistemi (HFACS) ve Kanıta Dayalı Muhakeme (ER) ÇKKV yöntemlerini önermişlerdir.

Ghatorha vd. (2020) tarafından pres imalat endüstrisinde verimliliği artırmak için kök neden analizinin uygulandığı bir çalışmada balık kılçığı yöntemi kullanılmış ve çalışmanın sonucunda flanş fikstürü geliştirilmiş ve işleme süresi yaklaşık olarak 9,5 saat azaltılmıştır.

Wang vd. (2018) proses endüstrisindeki karmaşık elektromekanik sistemlerdeki hataların kök nedenlerinin izlenmesi için veri analizi ile yönlendirilen ve geliştirilmiş sembolik transfer entropi yöntemine odaklanan bilgi aktarımına dayalı yeni bir çerçeve önermişlerdir. Çalışmada, karmaşık elektromekanik sistemler için veri modeli oluştururken gürültüye karşı direnci artırmak ve veri kaybını azaltmak için ikili kodlama ve ondalık kod çözme ile geliştirilmiş bir sembolik transfer entropi yöntemi geliştirilmiştir.

Li vd. (2016) proses endüstrilerindeki hataların veriye dayalı kök nedenlerinin tespiti amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada hem sabit hatalar hem de durağan olmayan hatalar dahil olmak üzere bir kök neden konumu çerçevesi önermişlerdir. Önerilen yaklaşımın kullanımını ve etkililiğini göstermek için Tennessee Eastman süreci üzerine bir vaka çalışması uygulanmıştır. Sonuçlar önerilen çerçevenin geçerli olduğunu göstermiştir.

Zhang vd.(2020) kömür madenlerindeki kazalarının kök nedenlerinin tespiti için kaza istatistiklerine dayalı güvenlik kültürü eksikliklerinin özelliklerini kullanarak bir metodoloji geliştirmişlerdir. Çalışmada neden çünkü (WBA) yöntemi ile 67 büyük kaza verilerini (gaz patlaması, su baskını, yangın vb.) güvenlik kültüründeki eksiklikleri belirlemek için analiz etmişlerdir. Çalışma sonucunda, endüstriyel kazaları daha da azaltmak için güvenlik kültürünü iyileştirmede departmanların ve denetim ortamının rolünü vurgulamışlardır.

Botti vd. (2020) imalat sektöründe oluşan kazaların görünen ve kök nedenleri üzerine gerçekleştirdikleri bir çalışmada, İtalya'da 2002 ile 2015 yılları arasında imalat sektöründe meydana gelen 118 iş kazasını analiz etmişlerdir. Görünen nedenler, kazaların raporlardaki açıklamalarından türetilmiştir. Sonuçlar, önde gelen görünür nedenin uygunsuz bir prosedürün gönüllü olarak benimsenmesi olduğunu göstermiştir.

Örneğin; bir risk kontrol önleminin atlanması, ardından ekipmanın uygunsuz kullanımı ve koordinasyon eksikliği. İnsan faktörleri ve iş kazasına neden olan diğer ara nedenler hakkında bilgi eksikliği nedeniyle kök nedenlerin araştırılmasının zor olduğu da belirtilmiştir. Ayrıca kazaların temel nedenlerinin belirlenmesi için veri toplama amacıyla yapılandırılmış bir metodolojinin eksikliği de vurgulanmıştır. Bu tür verilerin toplanmasının, imalat sektöründe iş kazaları ve daha spesifik olarak ölümcül ve ciddi yaralanmalara neden olan mekanizmalar için öncü göstergelerin tanımlanmasına izin vereceği belirtilmiştir.

Alekseeva vd. (2020) yakıt ve enerji sektörünün üretim kuruluşlarındaki kazaların kök nedenlerinin belirlenmesi amacıyla gerçekleştirdikleri çalışmada, 2008-2018 yılları arasında boru hattı gaz taşımacılığı kuruluşlarındaki kazalara ilişkin istatistiksel verilerin analiz sonuçları sunulmuştur. Çalışmada incelenen kazalardan boru hattı gaz nakliyesinde meydana gelen kazaların ana nedenlerinin grupları belirlenmiştir. Ayrıca çalışma süresince gerilme korozyonu çatlağı oluşumunun niteliği detaylı olarak incelenmiş ve bu nedenle kazaların meydana gelmesine neden olan kök nedenler tespit edilmiştir. Çalışma sonucunda, regresyon analizi yardımıyla, boru imalatçısının kusurları ile inşaat ve montaj işlerindeki kusurları içeren, korozyona bağlı kaza sayısı ile gizli kusurlar arasında fonksiyonel bir ilişki kurulmuştur.

Endüstriyel kazaların kök neden analizlerine yönelik çalışmaların literatür özeti Çizelge 3.2' de sunulmuştur.

Çizelge 3.2. Endüstriyel kazaların kök neden analizlerine yönelik çalışmaların literatür özet çizelgesi

Referans	Çalışmanın başlığı	Çalışmanın amacı	Çalışmada kullanılan yöntemler	Çalışmada elde edilen sonuçlar
Heller, Stephen, Journal of hazardous materials, 2006	Endüstriyel risk yönetimi - Riski önlemek ve değerlendirmek için test edilmiş ve kanıtlanmış bir sisteme sahip olmak	Risk skrolama ile ÇKKV yöntemlerinin birlikte kullanılarak yeni bir yöntem önerilmesi	MDCM: AHP	Risk puanlama / indeksleme ile birlikte ÇKKV yöntemlerinin kullanılması ile olası riskler ve sorunların doğru tespit edilebildiği belirtilmiştir
Wang vd., Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2013	Bayes Ağı ve Kanıtsal Akıl Yürütme yaklaşımına dayalı kaza analiz modeli	ÇKKV yöntemleri kullanarak kaza analizi modeli geliştirilmesi ile kaza sonrasında etkili önleyici tedbirler almak için kök sebeplerin öneminin vurgulanması	HFACS, Kanıta Dayalı Muhakeme	Kaza kök sebeplerini araştırmak için İnsan Faktörleri Analiz ve Sınıflandırma Sistemi (HFACS) ve Kanıta Dayalı Muhakeme (ER) ÇKKV yöntemleri önerilmiştir.
Yilmaz ve Alp, Open Journal of Safety Science and Technology, 2016	İş Kazalarının Temel Faktörleri: Türkiye Örneği	Türkiye'de iş teftişi, bakım, eğitim, çalışan katılımı ve işyeri denetimi gibi gerekli önlemlerin öneminin vurgulanması	FTOPSIS	İş sağlığı ve güvenliğinin hem endüstriyel hem de kamusal düzeydeki bir sistem olduğu vurgulanmıştır
Li vd., Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 2016	Proses endüstrilerindeki hataların veriye dayalı kök neden teşhisi	Proses endüstrilerindeki hataların veriye dayalı kök nedenlerinin tespit edilmesi	PCA, Dinamik PCA	Sabit ve durağan olmayan hatalar için önerilen kök neden çerçevesinin geçerli olduğu gösterilmiştir

Çizelge 3.2. (devam) Endüstriyel kazaların kök neden analizlerine yönelik çalışmaların literatür özet çizelgesi

Referans	Çalışmanın başlığı	Çalışmanın amacı	Çalışmada kullanılan yöntemler	Çalışmada elde edilen sonuçlar
Wang vd., Mechanical Systems and Signal Processing, 2018	Proses endüstrisindeki karmaşık elektromekanik sistemlerdeki hataların kök nedenlerinin izlenmesi bilgi aktarımına dayalı yeni bir çerçeve	Proses endüstrisindeki karmaşık elektromekanik sistemlerdeki hataların kök nedenlerinin izlenmesi için veri analizi ile yönlendirilen ve geliştirilmiş sembolik transfer entropi yöntemine odaklanan bilgi aktarımına dayalı yeni bir çerçeve önerilmesi	FMEA	Veri kaybının azaltılması için ikili kodlama ve ondalık kod çözme ile geliştirilmiş bir transfer entropi yöntemi önerilmiştir
Ghatorha vd., Materials Today: Proceedings, 2020	Malzeme kaldırma oranını artırarak verimliliği artırmak için temel neden analizinin uygulanması: Pres imalat endüstrisine ilişkin bir vaka çalışması	Pres imalat endüstrisinde verimliliği artırmak için kök neden analizinin uygulanması	Balık kılçığı	Balık kılçığı yöntemi kullanılarak flanş fikstürünün geliştirilmesi ile işleme süresi yaklaşık olarak 9,5 saat azaltılmıştır
Zhang vd., Process Safety and Environmental Protection, 2020	Kömür madeni kazalarının temel nedenleri: Kaza istatistiklerine dayalı güvenlik kültürü eksikliklerinin özellikleri	Kömür madenlerindeki kazalarının kök nedenlerinin tespit edilmesi	WBA	Endüstriyel kazaları daha da azaltmak için güvenlik kültürünü iyileştirmede departmanların ve denetim ortamının rolü vurgulanmıştır

Çizelge 3.2. (devam) Endüstriyel kazaların kök neden analizlerine yönelik çalışmaların literatür özet çizelgesi

Referans	Çalışmanın başlığı	Çalışmanın amacı	Çalışmada kullanılan yöntemler	Çalışmada elde edilen sonuçlar
Lucia vd., International Conference on Applied Human Factors and Ergonomics, 2020	İmalat Kazalarının Görünen ve Kök Nedenlerinin Ayrıntılı İncelenmesi	İmalat sektöründe oluşan kazaların kök nedenlerinin tespit edilmesi	ACA	Kazaların kök nedenlerinin belirlenmesi için veri toplama amacıyla yapılandırılmış bir metodolojinin eksikliği vurgulanmıştır
Alekseeva vd., IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020	Yakıt ve enerji sektörünün tehlikeli üretim kuruluşlarında meydana gelen kazaların kök nedenlerinin belirlenmesi	Yakıt ve enerji sektörünün üretim kuruluşlarındaki kazaların kök nedenlerinin belirlenmesi	Regresyon analizi	Boru imalatçısının kusurları ile inşaat ve montaj işlerindeki kusurları içeren, korozyona bağlı kaza sayısı ile örtülü kusurlar arasında fonksiyonel bir ilişki kurulmuştur

3.3. Çok Kriterli Karar Verme Analizlerine Yönelik Çalışmalar

Özdemir vd. (2018) gemide yaşanmış iş kazalarına ilişkin ÇKKV yöntemlerini kullanarak iş kazasının nedenlerini öncelik sırasına göre şu şekilde belirtmişlerdir: insan faktörleri (C4), Yönetim Eksikliği (C2), Gemi Kaynaklı Sorunlar (C3), Kargo Sorunlar (C5) ve Çevresel Faktörler (C1). İlk sırada yer alan insan faktörlerinin alt nedenlerinin eğitimsizlik, bilinçsizlik, dikkatsizlik, mesleki tedirginlik, yorgunluk, tehlikeli hareketler olduğu belirtilmiştir. Kriterler genel olarak incelendiğinde, C2 ve C4'ün doğrudan insan kaynaklı olduğu, C3 ve C5'in ise insan hatasından dolayı olarak etkilendiği, C1'in de denizcilik mesleğini diğer meslek alanlarından ayıran ayırt edici kriter olarak öne çıktığı vurgulanmıştır.

Koulinas vd. (2019) inşaat sektöründe ÇKKV yöntemi ile gerçekleştirdikleri çalışmanın sonucunda, riskleri sıralamak ve önceliklendirmek için popüler bir çok kriterli karar verme yöntemi ve nicel bir risk analizi tekniğinin birlikte kullanılmasının faydalı olacağını belirtmişlerdir.

Bragatto vd. (2021) COVID-19 pandemisinin, Seveso III Direktifinin uygulandığı İtalyan kimya ve proses endüstrileri üzerindeki etkisini tartıştıkları çalışmada, AHP analizi kullanılmış ve gelecekte covid-19 ve benzeri yeni krizlerle yüzleşebilmek adına daha yüksek bir kapasite geliştirilmesini amaçlayan yenilikçi bir örgütsel “esneklik” modeli önerilmiştir.

Gül (2018) ÇKKV yöntemleri ve bunların bulanık versiyonlarına dayalı iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme yaklaşımlarını gözden geçirmiştir. Çalışmasında, ÇKKV yöntemlerinin, nicel araçlar olarak risk değerlendirmesi için yaygın bir şekilde uygulanmakta olduğunu ve tehlikeli endüstrilerde risk değerlendirme sürecinin anlaşılmasını sağlayacağını belirtmiştir.

Turskis vd. (2019) inşaat KOBİ'lerinde kazaların önlenmesinde en etkili kişilerin belirlenmesi için ÇKKV yöntemini kullanmıştır. Geliştirici, proje lideri, İSG uzmanı, İSG koordinatörü, yüklenici ve alt yüklenici dahil olmak üzere kilit paydaşların KOBİ şantiyelerinde iş kazalarını önleyebilecek en etkili kişiler olduğu tespit edilmiştir.

Ouédraogo vd. (2011) araştırma ortamında risk analizi çalışmalarını ÇKKV yöntemleri kullanarak gerçekleştirmiş ve ÇKKV yöntemlerinin risk analizi yapmak için titiz bir matematiksel model sağladığı belirtilmiştir.

İlbahar vd. (2018) bulanık AHP analizini kullanarak iş sağlığı ve güvenliği için risk değerlendirmesine yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Literatürden farklı olarak, bu çalışmada iş sağlığı ve güvenliği alanında risk değerlendirmesi için yeni bir entegre bulanık AHP ve Fine Kinney analizleri kullanılmıştır. Bir inşaat sahasında kazı sürecinin riskleri önerilen yöntemle değerlendirilmiştir. Sonuçlar, önerilen yöntemin karar verme sürecinin belirsizliğini daha iyi temsil eden güvenilir ve bilgilendirici sonuçlar ürettiğini ortaya koymuştur.

Seker vd. (2017) şantiyelerde mesleki risklerin analizinde ÇKKV yöntemlerinin uygulanmasını gerçekleştirmişlerdir. Çalışmalarında geleneksel yöntemlerin, kesin çözümler sunsa da insan faktörlerinden kaynaklanan karmaşıklıklar nedeniyle insan

merkezli sorunları çözmek için yararlı olmadığını belirtmişlerdir. Ayrıca, gerçek saha uygulamalarında, karar verme problemlerinin belirsizlik altında yürütülmesi gerektiği, çünkü hedeflerin, kısıtlamaların ve olası eylemlerin belirsiz olduğunu, bu nedenle, çevre ile ilgili belirsizlik ve belirsizliğin olduğu bu tür gerçek saha problemlerinde ÇKKV yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığını açıklamışlardır.

Dabous vd. (2021) çok kriterli karar verme ve FMEA entegrasyonu ile imalat endüstrisinde çalışmışlardır. Çalışmada alandaki eğilimleri, sınırlamaları ve araştırma fırsatlarını analiz etmek için özellikle imalat endüstrisinde ÇKKV ve FMEA arasındaki entegrasyona ilişkin literatür kapsamlı bir şekilde incelenmiştir. Bunu amaçla 2010 ve 2019 yılları arasında yayınlanan altmış yedi hakemli dergi makalesi analiz edilmiştir. Analiz sonuçlarına göre, elektronik üretiminin ÇKKV ve FMEA arasındaki entegrasyon için en yaygın uygulama alanı olduğu ayrıca TOPSIS yönteminin imalat endüstrisinde en çok uygulanan ÇKKV yaklaşımı olduğu belirtilmiştir.

Fata vd. (2021) iş sağlığı ve güvenliği risklerini ÇKKV yöntemine göre sıralayarak ve insan faktörlerini de dahil ederek VIKOR yöntemi uygulamıştır. Sicilya'da mobilya satışı ve ahşap ürünler üreten işletmede önerilen metod kullanılarak gerçekleştirilen bu çalışmada elde edilen sonuçlar, işletme tarafından gerçekleştirilen önceki risk analizleri ile karşılaştırılmıştır. Önerilen metodolojinin riskleri ayırt etme konusundaki yüksek başarısı vurgulanmıştır.

Ciftci vd. (2020) ÇKKV yöntemlerinden ANP ve TOPSIS yöntemleri ile risk analizi modeli geliştirilmiştir. Model, metal endüstrisinde uygulanmış, önemli riskleri tespit etmek için risk faktörleri arasındaki karşılıklı ilişkiler dikkate alınmış ve bir sıralama düzeninin belirlenmesi sağlanmıştır. Ayrıca çalışmada sadece geleneksel risk faktörleri değil, psiko-sosyal faktörler de ele alınmıştır. Çok kriterli karar verme analizlerine yönelik çalışmaların literatür özeti Çizelge 3.3'te sunulmuştur.

Çizelge 3.3. Kazaların ÇKKV Yöntemleri ile Değerlendirilmesine Yönelik Çalışmaların literatür özet çizelgesi

Referans	Çalışmanın başlığı	Çalışmanın amacı	Çalışmada kullanılan yöntemler	Çalışmada elde edilen sonuçlar
Ouédraogo vd., Safety science, 2011	Araştırma ortamında risk analizi-bölüm II: analitik hiyerarşi sürecini kullanarak laboratuvar kritik indeksini ağırlıklandırma	ÇKKV yöntemleri kullanılarak risk analizi için Laboratory Assessment and Risk Analysis – LARA adlı yeni bir model önerilmesi	AHP	ÇKKV yöntemlerinin risk analizi gerçekleştirmek için titiz bir matematik model sağladığı belirtilmiştir
Seker ve Zavadskas, Sustainability, 2017	İnşaat Sahalarında Mesleki Risklerin Analizi İçin Bulanık DEMATEL Yönteminin Uygulanması	Şantiyelerde mesleki risklerin analizinde ÇKKV yöntemlerinin uygulanması	Fuzzy DEMATEL	Gerçek saha problemlerinde ÇKKV yöntemlerinin yaygın olarak kullanıldığı açıklanmıştır
Özdemir vd., TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation, 2018	Gemide Yaşanan İş Kazaları İçin Bulanık AHP Metodu ile Bir ÇKKV Yaklaşımı	Gemilerde yaşanan iş kazalarının analizi ve bu konuda uygulanabilecek alternatif çözümler sunulması	FAHP	Kriterler; insan faktörleri, yönetim eksikliği, gemi kaynaklı sıkıntılar, kargo sorunları ve çevresel faktörler olarak belirtilmiştir
İlbahar vd., Safety Science, 2018	PFAHP kullanılarak iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirmesine yönelik yeni bir yaklaşım	PFAHP yöntemi kullanarak iş sağlığı ve güvenliği için risk değerlendirmesine yeni bir yaklaşım önerilmesi	PFAHP	Önerilen yöntemin karar verme süreci için güvenilir ve bilgilendirici sonuçlar ürettiği ortaya koyulmuştur

Çizelge 3.3. (devam) Kazaların ÇKKV Yöntemleri ile Değerlendirilmesine Yönelik Çalışmaların literatür özet çizelgesi

Referans	Çalışmanın başlığı	Çalışmanın amacı	Çalışmada kullanılan yöntemler	Çalışmada elde edilen sonuçlar
Gül ve Muhammet, Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal, 2018	ÇKKV yöntemleri ve bunların bulanık versiyonlarına dayalı iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme yaklaşımlarının gözden geçirilmesi	ÇKKV yöntemleri ve bunların bulanık versiyonlarına dayalı iş sağlığı ve güvenliği risk değerlendirme yaklaşımlarının gözden geçirilmesi	Buckley's FAHP, FVIKOR	ÇKKV yöntemlerinin tehlikeli endüstrilerde risk değerlendirme sürecinin anlaşılmasını kolaylaştıracağı belirtilmiştir
Koulinas vd., Safety Science, 2019	Bulanık analitik hiyerarşi süreci ve kantitatif bir teknik kullanılarak şantiyelerde risk analizi ve değerlendirmesi – Yunan inşaat sektörü için bir vaka çalışması	İnşaat sektöründe ÇKKV yöntemleri kullanılarak risklerin sıralanması ve önceliklendirilmesi	FAHP	ÇKKV yöntemi ve nicel bir risk analizi tekniğinin birlikte kullanılmasının faydalı olacağı belirtilmiştir
Turskis vd., International Journal of Computers Communications & Control, 2019	İnşaat KOBİ'lerinde Kazaların Sürdürülebilir olarak Önlenmesinde En Etkili Kişileri Belirlemeye Yönelik Bir Bulanık Grup Karar Verme Modeli	İnşaat KOBİ'lerinde kazaların önlenmesinde en etkili kişilerin belirlenmesi	AHP	Geliştirici, proje lideri, İSG uzmanı, İSG koordinatörü, yüklenici ve alt yüklenicilerin KOBİ şantiyelerinde iş kazalarını önleyebilecek en etkili kişiler olduğu tespit edilmiştir

Çizelge 3.3. (devam) Kazaların ÇKKV Yöntemleri ile Değerlendirilmesine Yönelik Çalışmaların literatür özet çizelgesi

Referans	Çalışmanın başlığı	Çalışmanın amacı	Çalışmada kullanılan yöntemler	Çalışmada elde edilen sonuçlar
Ciftci ve Arikan, Open Journal of Business and Management, 2020	Çok Kriterli Bir Risk Analizi Modeli ve Metal Sektöründe Bir Vaka Çalışması	ÇKKV yöntemleri kullanılarak metal endüstrisinde risk analizi gerçekleştirilmesi	ANP, TOPSIS	Önemli riskleri tespit etmek için risk faktörleri arasındaki karşılıklı ilişkileri dikkate alarak ve bir sıralama düzeni belirleyerek literatüre katkı sağlanmıştır
Saleh vd., Engineering Failure Analysis, 2020	Mühendislik uygulamalarında çok kriterli karar verme ile hata türleri ve etkileri analizi ve kritiklik analizinin entegrasyonu: Bölüm I – İmalat endüstrisi	İmalat endüstrisinde FMEA ve ÇKKV yöntemlerinin birlikte kullanılarak risk analizi gerçekleştirilmesi	FMEA, TOPSIS	Elektronik üretiminin ÇKKV ve FMEA arasındaki entegrasyon için en yaygın uygulama alanı olduğu, TOPSIS yönteminin imalat endüstrisinde en çok sık uygulanan metot olduğu belirtilmiştir
Paolo vd., Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2021	COVID-19 salgınının İtalyan Seveso endüstrilerindeki güvenlik yönetimi üzerindeki etkisi	COVID-19 pandemisinin, Seveso III Direktifinin uygulandığı İtalyan kimya ve proses endüstrileri üzerindeki etkisinin değerlendirilmesi	AHP	Gelecekte covid-19 ve benzeri yeni krizlerle yüzleşebilmek adına daha yüksek bir kapasite geliştirilmesini amaçlayan yenilikçi bir örgütsel “esneklik” modeli önerilmiştir

Çizelge 3.3. (devam) Kazaların ÇKKV Yöntemleri ile Değerlendirilmesine Yönelik Çalışmaların literatür özet çizelgesi

Referans	Çalışmanın başlığı	Çalışmanın amacı	Çalışmada kullanılan yöntemler	Çalışmada elde edilen sonuçlar
Fata vd., Safety Science, 2021	İş sağlığı ve güvenliği risklerinin çok kriterli bir bakış açısıyla sıralanması: İnsan faktörünün dahil edilmesi ve VIKOR uygulaması	İnsan faktörlerinin de dâhil edilerek VIKOR yöntemi ile İSG risklerinin belirlenmesi	VIKOR	İşletme tarafından gerçekleştirilen önceki risk analizleri ile karşılaştırıldığında önerilen metodoloji riskleri ayırt etme konusunda yüksek başarı göstermiştir

Bu tez çalışmasında kuruluşların endüstriyel kaza riskinin kök nedenler üzerinden AHP analizi ile değerlendirilmesi amaçlanmış ve bu kapsamda endüstriyel kazaların kök nedeni olabilecek ana kriterleri belirlemek için kimya sektöründe faaliyet gösteren iş yerlerinde 2015-2020 yılları arasında yaşanmış ölümlü ve uzuv kayıplı iş kazası verileri Pareto analizi ile değerlendirilmiştir. Pareto analizi sonrasında endüstriyel kazaların kök nedeni olabilecek ana kriterleri belirlemek için literatür araştırması gerçekleştirilmiş ve Pareto analizinde veriler de dikkate alınarak ana kriterler ve alt kriterler belirlenmiştir. Ana ve alt kriterler için anketler oluşturulmuş ve kriterlerin değerlendirilmesi AHP analizi ile gerçekleştirilmiştir. AHP analizi kullanılarak kriterlerin göreceli ağırlıklarının tespit edilmesi amacıyla ana ve alt kriterler uzman görüşleri üzerinden değerlendirilerek özgün bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

4. MATERYAL VE METOT

Endüstriyel kazaların kök nedenlerine göre kuruluş kaza riskinin AHP analizi ile değerlendirilmesi bu çalışmada aşağıdaki aşamalarla gerçekleştirilmiştir:

Endüstriyel kazaların kök nedeni olabilecek ana ve alt kriterleri belirlemek ve kök neden analizinin problemi anlama aşamasını gerçekleştirebilmek için ilk aşamada “İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği” dikkate alınarak Altılı Ekonomik Faaliyet Sınıflaması (NACE) kodlarından kimya sektöründe çalışma yapan 19.xx.xx – 22.xx.xx NACE kodlu iş yerleri seçilmiş ve Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) istatistikleri kullanılarak seçilen iş yerlerinde 2015-2020 yılları arasında yaşanmış ölümlü ve uzuv kayıplı iş kazası verileri toplanarak kritik olaylar belirlenmeye çalışılmış ve literatür araştırması gerçekleştirilmiştir.

Ardından problem nedenine yönelik fikirlerin belirlenmesi için literatür araştırmasının yanında uzman görüşleri de dikkate alınarak beyin fırtınası ile ana ve alt kriterler oluşturulmuştur.

Kök neden analizinin veri analizi sürecini gerçekleştirmek için toplanan veriler, Pareto analizi ile değerlendirilmiş; Pareto analizi sonrasında endüstriyel kazaların kök nedeni olabilecek ana kriterler ve alt kriterler belirlenmiştir. Kriterlerin ağırlıklandırılması AHP analizi ile anketler üzerinden yapılmıştır. Anket, ilgili mevzuat kapsamında rol ve yükümlülüklerle sahip, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Çevre ve Şehircilik Bakanlığı, Afet ve Acil Durum Yönetim Başkanlığı, sanayi ve üniversiteden uzman 6 kişiye uygulanmıştır.

Son aşamada mevzuat kapsamındaki 3 endüstriyel kuruluş, kök nedenlere göre endüstriyel kaza riski açısından değerlendirilmiş ve en riskli kuruluş belirlenmiştir.

4.1. Pareto Analizi

Pareto Analizi İtalyan Vilfredo Pareto (1848-1923) tarafından geliştirilmiştir. Ünlü bir iktisatçı ve aynı zamanda sosyolog olan Pareto; daha sonraları kendi adıyla anılmaya başlanacak olan prensibini ilk defa ekonomik içerikli olarak ortaya koymuştur. Pareto, işletmelerde çeşitli araştırmalar gerçekleştirmiş ve problemlerin büyük çoğunluğunun genellikle birbiri ile bağlantılı az sayıda ancak baskın nedenlerden kaynaklandığını ifade etmiştir (Özgüvenç, 2011).

Normal bir Pareto dağılımında sebeplerin en önemli kısmını oluşturan %20'si performansın %80'ini, sonra gelen %30'u performansın %15'ini ve geri kalan %50'si ise performansın sadece %5'ini kapsamaktadır. Maliyetin yaklaşık %80'inin çalışanların sadece %20'sinden kaynaklandığı veya servetin yaklaşık %80'inin nüfusun %20'sinin elinde olduğu gibi durumlar da bu konuya birer örnektir. Bu oranlar sebebiyle literatürde “80-20 Kuralı” olarak da adlandırılan Pareto analizine göre, “problemlerin %80'lik kısmına %20'lik aktivitenin neden olması ve bu önemli %20'lik kısmın üzerinde yoğunlaşılması gerektiği” sonucuna varılmaktadır. Bu “görünen çoğunluk, etkili azınlık” felsefesini temsil etmektedir (Özgüvenç, 2011).

Çalışmada kök neden analizin veri toplama sürecinin gerçekleştirilmesi amacıyla “İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği” dikkate alınarak Altılı Ekonomik Faaliyet Sınıflaması (NACE) kodlarından kimya sektöründe çalışma yapan 19.xx.xx – 22.xx.xx NACE kodlu iş yerleri seçilmiştir. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) istatistikleri kullanılarak seçilen iş yerlerinde 2015-2020 yılları arasında yaşanmış ölümlü ve uzuv kayıplı iş kazası verileri dikkate alınmıştır. Kazalar beyan edilen sebepler bazında Avrupa İş Kazaları İstatistikleri (European Statistics on Accidents at Work) - ESAW metodolojisine göre gruplandırılmış, gruplandırma yapılırken diğer sapma kodunda yer alan kazalar dikkate alınmamıştır (kod 99). Kaza sebepleri Pareto Analizi yöntemi ile değerlendirilmiş ve %80'lik kısım belirlenmiştir.

İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği dikkate alınarak kimya sektöründe çalışma yapan 19.xx.xx – 22.xx.xx NACE kodlu iş yerlerinde yaşanmış ölümlü ve uzuv kayıplı iş kazası verileri 2015-2020 yılları arasındaki SGK istatistikleri kullanılarak Çizelge 4.1.' de sunulmuştur.

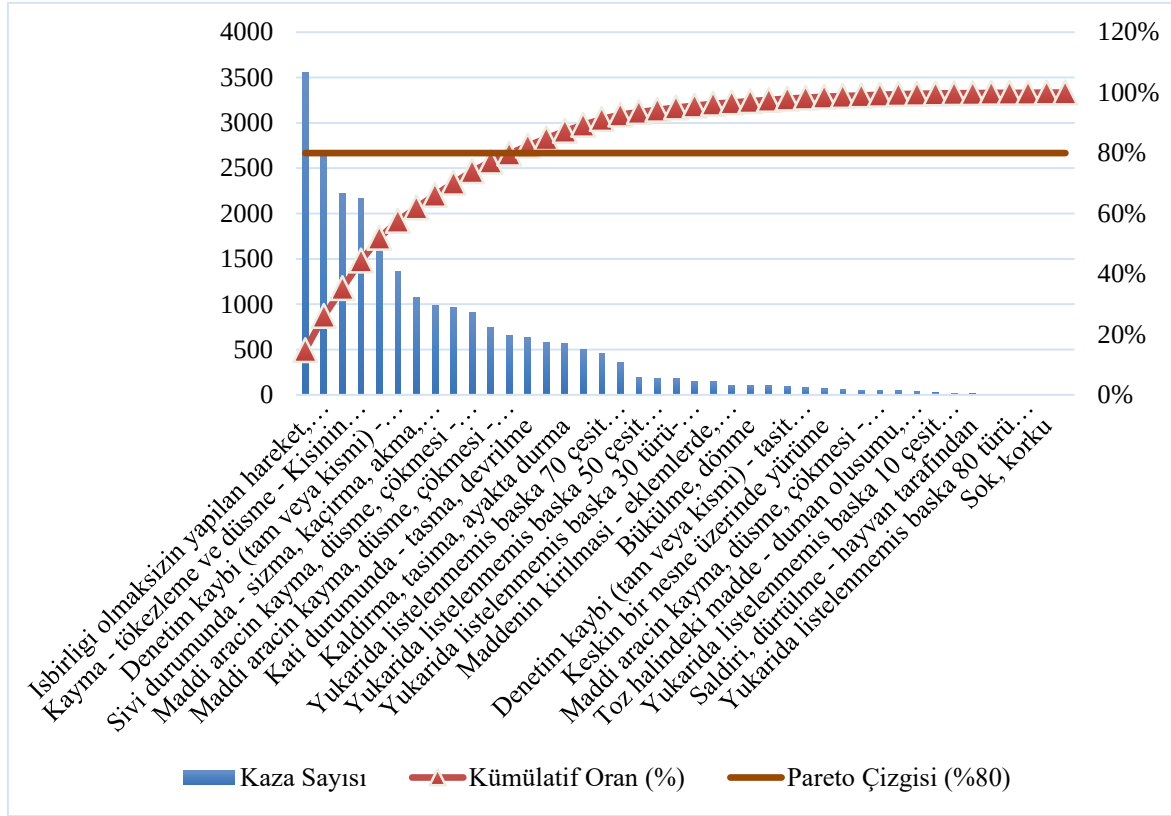
Çizelge 4.1. Kaza Sebep Tablosu

ESAW Kodu	Kaza Sebepleri	Kaza Sayısı	Kümülatif Toplam	Kümülatif Oran (%)
64	İşbirliği olmaksızın yapılan hareket, gereksiz veya zamansız eylemler	3550	3550	15%
43	Denetim kaybı (tam veya kısmi)- el aleti (motorlu olsun veya olmasın) veya alet tarafından kullanılan maddi aracın	2696	6246	26%
52	Kayma- tökezleme ve düşme- Kişinin düşmesi- aynı düzeyde	2223	8469	35%
41	Denetim kaybı (tam veya kısmi)- makine (istenmeyen başlama da dahil olmak üzere) veya maddi araç	2163	10632	44%
44	Denetim kaybı (tam veya kısmi)- nesnenin (taşınan, oynatılan, kullanılan, vb.)	1802	12434	52%
51	Kişinin düşmesi- alt düzeye	1361	13795	58%
22	Sivil durumunda- sızma, kaçırma, akma, sıçrama, püskürme	1069	14864	62%
23	Gaz durumunda- buharlaşma, aerosol oluşum, gaz oluşumu	991	15855	66%
33	Maddi aracın kayma, düşme, çökmesi- yukarıdan (kazazedenin üstüne düşerek)	962	16817	70%
14	Yangın, tutuşma	908	17725	74%
35	Maddi aracın kayma, düşme, çökmesi- aynı düzeyde	744	18469	77%
32	Kırılma, patlama- kıymık oluşumu (tahta, cam, metal, tas, plastik, diğerleri)	657	19126	80%
21	Kati durumunda - tasma, devrilme	633	19759	82%
63	Kapılma veya götürülme- bir şey veya ivme tarafından	583	20342	85%
71	Kaldırma, taşıma, ayakta durma	570	20912	87%
72	İtme, çekme	497	21409	89%
79	Yukarıda listelenmemiş başka 70 çeşit Sapma	454	21863	91%
49	Yukarıda listelenmemiş başka 40 çeşit Sapma	357	22220	93%
59	Yukarıda listelenmemiş başka 50 çeşit Sapma	191	22411	94%
75	Çiğnenmek, bacak veya bilek bükülmesi, düşmeden kaymak	180	22591	94%
39	Yukarıda listelenmemiş başka 30 türü-çeşit Sapma	176	22767	95%
69	Yukarıda listelenmemiş başka 60 çeşit Sapma	153	22920	96%
31	Maddenin kırılması- eklemlerde, birleşme noktalarında	144	23064	96%
62	Diz çökme, oturma, yaslanma	107	23171	97%
74	Bükülme, dönme	106	23277	97%
29	Yukarıda listelenmemiş başka 20 çeşit Sapma	104	23381	98%
42	Denetim kaybı (tam veya kısmi)- taşıt aracı veya ekipman kullanımının (motorlu olsun veya olmasın)	96	23477	98%

Çizelge 4.1. (devam) Kaza Sebebi Tablosu

ESAW Kodu	Kaza Sebepleri	Kaza Sayısı	Kümülatif Toplam	Kümülatif Oran (%)
73	Aşağı bırakma, eğilme	84	23561	98%
61	Keskin bir nesne üzerinde yürüme	65	23626	99%
12	Elektrik sorunu- doğrudan temasa yol açan	59	23685	99%
34	Maddi aracın kayma, düşme, çökmesi- aşağıdan (kazazedeyi aşağı çekerek)	53	23738	99%
11	Elektrik arızası nedeniyle elektrik sorunu- doğrudan temasa yol açan	51	23789	99%
24	Toz halindeki madde- duman oluşumu, havadaki/yayılmış toz ve zerrecikleri	44	23833	99%
82	Vahşet, saldırı, tehdit- işverenin otoritesine tabi olan şirket çalışanları arasında	36	23869	100%
19	Yukarıda listelenmemiş başka 10 çeşit Sapma	21	23890	100%
13	Patlama	17	23907	100%
84	Saldırı, dürtülme- hayvan tarafından	11	23918	100%
45	Denetim kaybı (tam veya kısmi)- hayvanın	9	23927	100%
89	Yukarıda listelenmemiş başka 80 türü çeşit Sapma	9	23936	100%
83	Vahşet, saldırı, tehdit- islerini yapmakta olan kazazedeye yönelik şirket dışındaki kişiler tarafından (banka soygunu, otobüs şoförleri, vb.)	7	23943	100%
81	Sok, korku	6	23949	100%
85	Üçüncü bir kimsenin veya kişinin kendisinin, kendine ve başkasına da tehlike yaratması	5	23954	100%
99	Bu sınıflandırmada listelenmemiş başka Sapma	9367	33321	
Genel Toplam		33321		

Çizelge 4.1.’de yer alan verilere göre “işbirliği olmaksızın yapılan hareket, gereksiz veya zamansız eylemler” kaza sebebinin, 33.321 adet ölümlü ve uzuv kayıplı iş kazasının %15’lik kısmını (3.550) oluşturduğu görülmektedir. İncelenen istatistiklerde herhangi bir kaza sebebi girilmemiş (diğer) kaza nedenlerinin ise 9.367 adet olduğu görülmektedir. Çizelge 1’deki veriler üzerinden Pareto analizi yapılarak kaza sebepleri analiz edilmiştir (Şekil 4.1).



Şekil 4.1. Kaza Sebeplerinin Analizi

Şekil 4.1' den, sektörde yaşanan kazaların %80'inini oluşturan ana kriterler, iş birliği olmaksızın yapılan hareket, gereksiz veya zamansız eylemler; denetim kaybı (tam veya kısmi) - el aleti (motorlu olsun veya olmasın)/makina/nesne(taşınan, kullanılan); kayma, tökezleme, düşme, kişinin düşmesi- aynı düzeyde ve alt düzeyde; sıvı durumunda - sızma, kaçırma, akma, sıçrama, püskürme; gaz durumunda - buharlaşma, aerosol oluşum, gaz oluşumu; aracın kayma, düşme, çökmesi-aynı düzeyde veya yukarıdan kazazedinin üzerine; yangın, tutuşma; kırılma, patlama olarak belirlenmiştir. Bir başka deyişle kaza sebeplerinin yaklaşık %20'si sektörde yaşanan kazaların %80'ini oluşturmaktadır.

Bunun yanında gerçekleştirilen literatür araştırması ile de kimya sektöründe meydana gelen kazaların ana sebepleri olacak kriterler, Pareto analizinden gelen 4 ana kriter (İnsan, Yönetim, Proses, ve Ekipman) ile uzman görüşleri üzerinden belirlenen 3 ana kriter (Domino, Afetler ve Sabotaj) olmak üzere aşağıda gösterildiği gibi belirlenmiştir:

- 1) Yönetim / Organizasyon Hataları
- 2) Proses Hataları
- 3) Ekipman Hataları
- 4) Domino etkisi

- 5) İnsan Hataları
- 6) Afetler
- 7) Sabotaj

Ana kriterler belirlendikten sonra detaylı literatür araştırması yapılmış ve ana kriterlere ait alt kriterler aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

1. Yönetim / Organizasyon Hatası Alt Kriterleri

- a) Yetersiz güvenlik planları
- b) Yetersiz eğitimler
- c) Her türlü gelişme ve değişimi takipte yetersizlik
- d) İlgili kurum/kuruluşlarla iş birliği yetersizliği
- e) Güvenlik performansı izleme yetersizliği
- f) Yanlış/ eksik prosedür ve talimatlar
- g) Uygun olmayan güvenlik yönetim sistemi
- h) Eksik veya uygun olmayan iletişim sistemi
- i) Üretim baskısı
- j) Mobbing

2. Proses Hatası Alt Kriterleri

- a) Tehlikeli kontaminasyonlar
- b) Tehlikeli faz oluşumları
- c) Tehlikeli reaksiyonlar
- d) Aşırı basınç
- e) Aşırı sıcaklık
- f) Aşırı doluluk oranı/seviyesi
- g) Aktif güvenlik bariyerleri eksikliği/yetersizliği
- h) Pasif güvenlik bariyerleri eksikliği/ yetersizliği
- i) Test edilmemiş/ tecrübe edilmemiş güvenlik bariyerleri
- j) Proses kontrol eksikliği/yetersizliği

3. Ekipman Hatası Alt Kriterleri

- a) Darbe
- b) Sızıntı
- c) Titreşim

- d) Korozyon/ Elektro erozyon (EDM)
- e) Mekanik gerilme/ Kırılma/ Kopma/ Yırtılma
- f) Kimyasal hasar
- g) Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj
- h) Uygun olmayan ekipman yerleşimi/ güvenlik mesafeleri
- i) Uygun olmayan/ elverişsiz bakım

4. Domino Etkisi Alt Kriterleri

- a) Jet yangını
- b) Parlama yangını
- c) Havuz/ Tank yangını
- d) Taşma yangını (boil over)
- e) Toz patlaması
- f) Buhar Bulutu Patlaması
- g) Termal Runaway (Kaçak reaksiyonu)
- h) BLEVE-Şarapnel etkiler
- i) BLEVE-Ateş topu
- j) Toksik yayılım

5. İnsan Hatası Alt Kriterleri

- a) İhmal/ Tedbirsizlik/ Umursamazlık
- b) Dikkatsizlik/ Dalgınlık
- c) Acelecilik
- d) Tecrübesizlik
- e) Unutkanlık
- f) İşe uygun özellikte olmama
- g) Aşırı iş yükü/ yorgunluk
- h) Alkol veya ilaç kullanımı
- i) Tehlike ve riskler hakkında yetersiz bilgi
- j) İş hakkında yetersiz bilgi/ bilgisizlik
- k) Güvenlik kültürü eksikliği
- l) İşletme körlüğü

6. Afetler Alt Kriterleri

- a) Deprem

- b) Sel
- c) Yıldırım
- d) Heyelan
- e) Fırtına/ Hortum
- f) Kaya Düşmesi
- g) Aşırı Sıcak dalgası
- h) Aşırı Soğuk dalgası
- i) Salgın Hastalık
- j) Siber Saldırı
- k) Terör Eylemleri

7. Sabotaj Alt Kriterleri

- a) Yangınla sabotaj
- b) Patlayıcı maddelerle sabotaj
- c) Mekanik sabotaj
- d) Bakteriyolojik ve kimyasal sabotaj
- e) Fikri sabotaj
- f) Psikolojik sabotaj

4.2. AHP Analizi

Endüstriyel kaza kök neden ana ve alt kriterleri belirlendikten sonra ÇKKV yöntemleri ile analizler yapılmıştır. Literatürde yer alan çalışmalara bakıldığında ÇKKV yöntemlerinden AHP analizi:

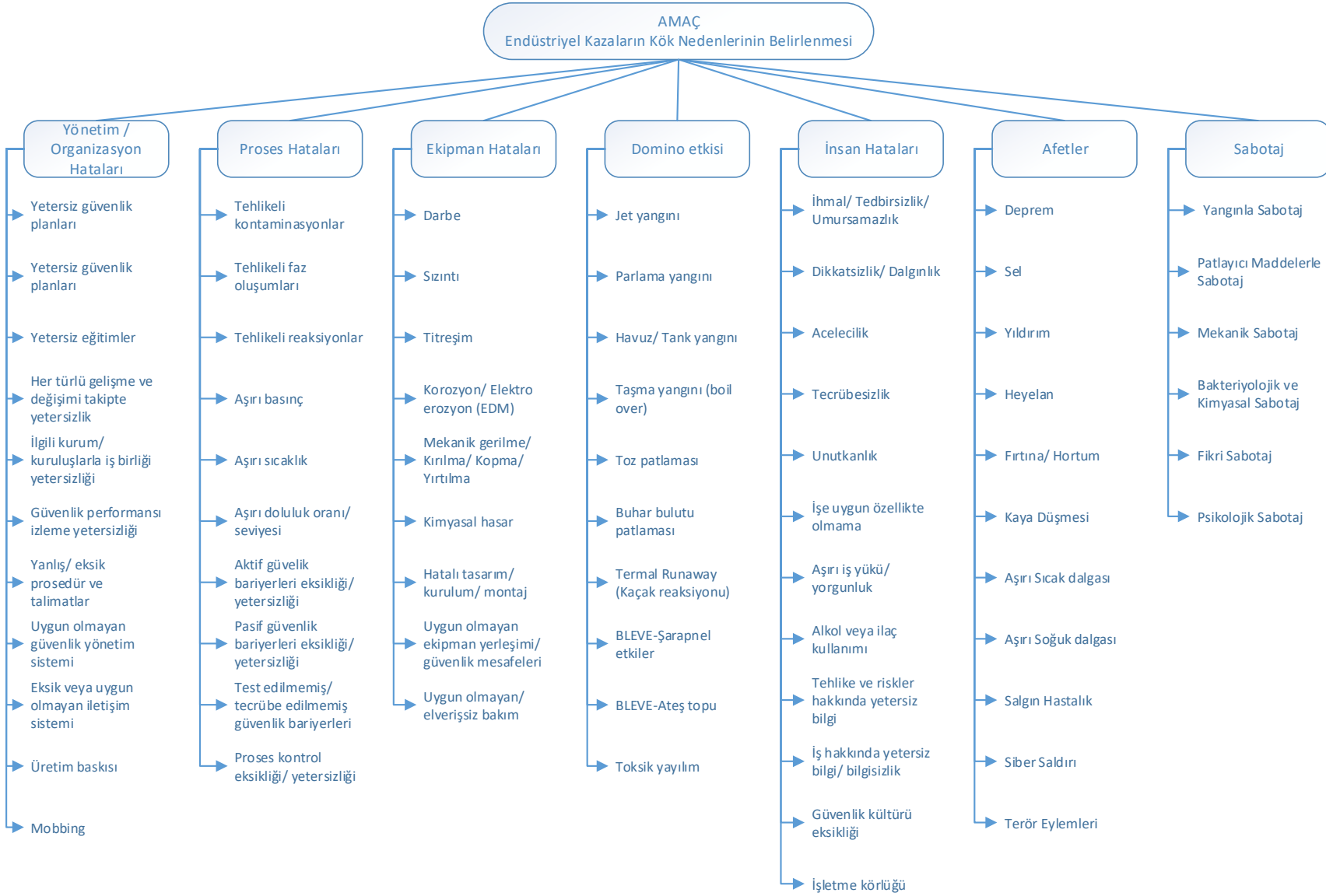
- Karar vericilerin kişisel tercihlerini göz önüne alarak çözümü oluşturması,
- Birden fazla ana kriterin ve alt kriterlerinin karar desteği sağlama problemlerinde değerlendirilmesine olanak tanınması,
- Hesaplamanın kolay olması,
- Birden fazla karar vericinin ortak karar vermesine olanak sağlaması,
- Hiyerarşik yapısı nedeniyle karmaşık görülen problemleri kolaylaştırması

gibi bazı üstün yönleri tarafından sıkça tercih edilmektedir.

Bu tez çalışmasında yukarıda sıralanan üstün yönlerinin yanında kriterlerin göreceli ağırlıklarının tespit edilmesine imkan sağlaması nedeniyle de AHP analizi kullanılmıştır.

Ana ve alt kriterler belirlenirken, ülkemizde endüstriyel kazalara yönelik bir veri tabanı bulunmadığı ve kazalara yönelik en geniş veriyi sunduğu için, SGK verileri kullanılmış ve kapsamlı bir literatür araştırması da yapılarak genel amacı endüstriyel kazaların kök nedenlerine göre kuruluş kaza riskinin AHP analizi ile değerlendirilmesi olan probleme dair yedi ana kriter ve bu ana kriterlere ait alt kriterler belirlenmiştir (Şekil 4.2).

Şekil 4.2. Kök nedenlere bağlı kriter ve alt kriterler



Kök nedenlerin ana kriterler ve alt kriterleri için değerlendirme anketleri hazırlanmıştır. Anketlerde ana kriterler ve alt kriterlerin ağırlık düzeylerini belirleyebilmek için her bir kriter için karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur (Ek-1). Hazırlanan bu anketler; endüstriyel kazalar konusunda ulusal ve uluslararası mevzuata hâkim kişiler ile akademisyenler ve saha temsilcilerinden oluşan uzmanlara uygulanmıştır (1 Akademisyen, 1 “T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü” personeli, 1 “T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Rehberlik ve Teftiş Başkanlığı” personeli, 1 “T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı” personeli, 1 “T.C. İçişleri Bakanlığı Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı” personeli ve 1 endüstriyel kuruluş personeli).

4.3. Endüstriyel Kaza Açısından Kök Nedenlere Göre Riskli Kuruluşun Değerlendirilmesi

Endüstriyel kazaların kök nedenlerine göre kuruluş kaza riskinin AHP analizi ile değerlendirilmesi çalışmasında; ilgili mevzuat kapsamına giren farklı sevide ve farklı lokasyondaki üç endüstriyel kuruluşun AHP analiziyle değerlendirilmesi ve bu yöntemin gereği olarak alt kriterlerin ikili karşılaştırma matrislerinin oluşturulması suretiyle gerçekleştirilmiştir.

Örnek uygulama gerçekleştirilen üç adet kuruluşun tamamı Ankara ilinde faaliyet gösteren üst seviyeli kuruluşlardır.

5. BULGULAR

Bu bölümde, ilk olarak endüstriyel kazaların kök nedenlerine göre kuruluş kaza riskinin AHP analizi ile değerlendirilmesine yönelik Pareto analizi ve literatür araştırması sonucu belirlenen kriterler, uzmanlar tarafından doldurulan ikili karşılaştırma matrisleri vasıtasıyla AHP hesaplamaları ile ağırlıklandırılmıştır. Ardından, mevzuat kapsamında seçilen örnek kuruluşlar yine AHP uygulanarak analiz edilmiş ve riskli kuruluş belirlenmiştir.

5.1. AHP Analizi

AHP analizi gerçekleştirebilmek için endüstriyel kaza kök nedeni olabilecek ana kriterler ve alt kriterlerin uzman görüşleri üzerinden kriter ağırlıkları anket uygulanarak tespit edilmiştir. AHP analizi ikili karşılaştırma matrisleri hem ana kriterler hem de alt kriterler bazında hazırlanmıştır.

AHP analizi gerçekleştirilirken 6 uzman tarafından doldurulan anketler yargıların birleştirilmesi açısından ana ve alt kriterler için geometrik ortalamalar hesaplanarak ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulmuştur. AHP analizi Bölüm 2.4.2.'de verilen eşitlikler ve açıklamalar doğrultusunda gerçekleştirilmiştir.

Yedi adet ana kritere ait ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 5.1.'de verilmiştir.

Çizelge 5.1. Ana kriterlere ait ikili karşılaştırma matrisi

Ana Kriterler	Yönetim / Organizasyon Hataları	Proses Hataları	Ekipman Hataları	Domino etkisi	İnsan Hataları	Afetler	Sabotaj
Yönetim / Organizasyon Hataları	1,00	0,33	0,34	1,50	0,24	2,92	3,70
Proses Hataları	3,05	1,00	0,76	4,68	0,27	3,54	4,08
Ekipman Hataları	2,96	1,31	1,00	3,60	0,44	3,67	4,21
Domino etkisi	0,67	0,21	0,28	1,00	0,31	2,39	3,17
İnsan Hataları	4,19	3,67	2,26	3,27	1,00	7,01	4,64
Afetler	0,34	0,28	0,27	0,42	0,14	1,00	2,72
Sabotaj	0,27	0,24	0,24	0,32	0,22	0,37	1,00

Çizelge 5.1.'de yer alan ikili karşılaştırma matrisinde; yönetim / organizasyon hataları kriterinin afetler kriterine karşı tercih değeri 2,92 iken, afetler kriterinin yönetim / organizasyon hataları kriterine karşı tercih değeri, bu değerin tersi olan $1/2,92$ yani 0,34'tür.

Bu şekilde tüm kriterlere ait tercih değerlerinin tersi bulunarak ikili karşılaştırma matrisleri tamamlanmıştır.

İkili karşılaştırma matrisleri tamamlandıktan sonra normalizasyon işlemleri için sütun toplamaları Çizelge 5.2.'de gösterildiği şekilde alınmıştır.

Çizelge 5.2. Ana kriterlerin normalizasyon işlemleri için sütun toplamaları

	Yönetim / Organizasyon Hataları	Proses Hataları	Ekipman Hataları	Domino etkisi	İnsan Hataları	Afetler	Sabotaj
Yönetim / Organizasyon Hataları	1,00	0,33	0,34	1,50	0,24	2,92	3,70
Proses Hataları	3,05	1,00	0,76	4,68	0,27	3,54	4,08
Ekipman Hataları	2,96	1,31	1,00	3,60	0,44	3,67	4,21
Domino etkisi	0,67	0,21	0,28	1,00	0,31	2,39	3,17
İnsan Hataları	4,19	3,67	2,26	3,27	1,00	7,01	4,64
Afetler	0,34	0,28	0,27	0,42	0,14	1,00	2,72
Sabotaj	0,27	0,24	0,24	0,32	0,22	0,37	1,00
TOPLAM	12,48	7,04	5,15	14,78	2,62	20,91	23,52

Sütun toplamalarının hesaplanmasından sonra matristeki her sütun elemanı ilgili sütun toplamına bölünmüştür (Çizelge 5.3.).

Çizelge 5.3. Normalize edilmiş matris

	Yönetim / Organizasyon Hataları	Proses Hataları	Ekipman Hataları	Domino etkisi	İnsan Hataları	Afetler	Sabotaj
Yönetim / Organizasyon Hataları	0,08	0,05	0,07	0,10	0,09	0,14	0,16
Proses Hataları	0,24	0,14	0,15	0,32	0,10	0,17	0,17
Ekipman Hataları	0,24	0,19	0,19	0,24	0,17	0,18	0,18
Domino etkisi	0,05	0,03	0,05	0,07	0,12	0,11	0,13
İnsan Hataları	0,34	0,52	0,44	0,22	0,38	0,34	0,20
Afetler	0,03	0,04	0,05	0,03	0,05	0,05	0,12
Sabotaj	0,02	0,03	0,05	0,02	0,08	0,02	0,04
TOPLAM	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000

Daha sonra öncelik vektörlerini hesaplamak için her bir satırın aritmetik ortalamaları Çizelge 5.4.'de gösterildiği şekilde alınmış ve öncelik vektörü bulunmuştur.

Çizelge 5.4. Normalize edilmiş matris ve öncelik vektörü

	Yönetim / Organizasyon Hataları	Proses Hataları	Ekipman Hataları	Domino etkisi	İnsan Hataları	Afetler	Sabotaj	Öncelik Vektörü
Yönetim / Organizasyon Hataları	0,08	0,05	0,07	0,10	0,09	0,14	0,16	0,09
Proses Hataları	0,24	0,14	0,15	0,32	0,10	0,17	0,17	0,19
Ekipman Hataları	0,24	0,19	0,19	0,24	0,17	0,18	0,18	0,20
Domino etkisi	0,05	0,03	0,05	0,07	0,12	0,11	0,13	0,08
İnsan Hataları	0,34	0,52	0,44	0,22	0,38	0,34	0,20	0,35
Afetler	0,03	0,04	0,05	0,03	0,05	0,05	0,12	0,05
Sabotaj	0,02	0,03	0,05	0,02	0,08	0,02	0,04	0,04
TOPLAM								1,000

Çizelge 5.4.'de ana kriterlere ait uzman görüşleri üzerinden yapılan değerlendirme sonucunda oluşan öncelik vektörü, aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

$$\begin{bmatrix} 0,09 \\ 0,19 \\ 0,20 \\ 0,08 \\ 0,35 \\ 0,05 \\ 0,04 \end{bmatrix}$$

Karşılaştırmalarda tutarsızlık olup olmadığını incelemek için Tutarlılık Oranı (CR) hesaplanmıştır. İlk etapta ikili karşılaştırmalar matrisi ile öncelik vektörü çarpılarak tüm öncelikler matrisi aşağıdaki şekilde hesaplanmıştır.

$$\begin{bmatrix} 1,00 & 0,33 & 0,34 & 1,50 & 0,24 & 2,92 & 3,70 \\ 3,05 & 1,00 & 0,76 & 4,68 & 0,27 & 3,54 & 4,08 \\ 2,96 & 1,31 & 1,00 & 3,60 & 0,44 & 3,67 & 4,21 \\ 0,67 & 0,21 & 0,28 & 1,00 & 0,31 & 2,39 & 3,17 \\ 4,19 & 3,67 & 2,26 & 3,27 & 1,00 & 7,01 & 4,64 \\ 0,34 & 0,28 & 0,27 & 0,42 & 0,14 & 1,000 & 2,72 \\ 0,27 & 0,24 & 0,24 & 0,32 & 0,22 & 0,37 & 1,00 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} 0,09 \\ 0,19 \\ 0,20 \\ 0,08 \\ 0,35 \\ 0,05 \\ 0,04 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0,72 \\ 1,45 \\ 1,53 \\ 0,59 \\ 2,69 \\ 0,38 \\ 0,28 \end{bmatrix}$$

Tutarlılık oranı hesaplamasında sonraki aşama olan λ_{Maks} hesabı için yukarıda elde edilen matrisin her bir değeri öncelik vektörü değerinde karşılık gelen değere bölünmüştür.

$$\frac{0,72}{0,09} = 7,43$$

$$\frac{1,45}{0,19} = 7,82$$

$$\frac{1,53}{0,20} = 7,73$$

$$\frac{0,59}{0,08} = 7,27$$

$$\frac{2,69}{0,38} = 7,76$$

$$\frac{0,38}{0,05} = 7,24$$

$$\frac{0,28}{0,04} = 7,27$$

λ_{Maks} değeri yukarıda elde edilen değerlerin aritmetik ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

$$\lambda_{Maks} = \frac{7,43 + 7,82 + 7,73 + 7,27 + 7,76 + 7,24 + 7,27}{7} = 7,50$$

Devamında Tutarlılık İndeksi (CI) hesaplanmıştır.

$$CI = \frac{(\lambda_{Maks} - n)}{(n - 1)} = \frac{7,50 - 7}{(7 - 1)} = \frac{0,50}{6} = 0,08$$

Son olarak Tutarlılık Oranı (CR) aşağıdaki denklem ile hesaplanmıştır. Rastgele Değer İndeksi (RI) karşılaştırılan değerlerin sayısına (n) bağlı olarak değişmekte olup n=7 için RI=1,32'dir.

$$CR = \frac{CI}{RI} = \frac{0,08}{1,35} = 0,06$$

Tutarlılık Oranının kabul edilebilir olması için %10 (0,100) veya daha düşük bir değerde olması gerekmektedir. 6 uzman değerlendirmesine göre ana kriterlere yönelik ikili karşılaştırmalar matrisinin Tutarlılık Oranı 0,06 ile kabul edilebilir düzeydedir.

AHP analizindeki hesaplamalar “SuperDecisions v2.10.0” programı kullanılarak da gerçekleştirilmiştir. Ana kritere ait öncelik vektörleri ile tutarlılık oranının hesaplandığı SuperDecisions programından alınan ekran görüntüsü Şekil 5.1.’de verilmiştir.

1. Choose	2. Node comparisons with respect to 1. Yönetim / Organiz~	3. Results
Node Cluster Choose Node 1. Yönetim / O~ Cluster: Kaza_Ana_Kriter~ Choose Cluster Kaza_Ana_Krite~ Restore	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "1. Yönetim / Organizasyon Hataları" node in "Kaza_Ana_Kriterler" cluster 2. Proses Hataları is 3.05 times more important than 1. Yönetim / Organizasyon Hataları Inconsistency 1. Yönetim~ 2. Proses ~ 3. Ekipman~ 4. Domino ~ 5. İnsan ~ 6. Afetler~ Copy to clipboard	Normal Hybrid Inconsistency: 0.06112 1. Yönetim~ 0.09393 2. Proses~ 0.18814 3. Ekipman~ 0.19952 4. Domino~ 0.07722 5. İnsan ~ 0.35493 6. Afetler ~ 0.04962 7. Sabotaj ~ 0.03664 Completed Comparison Copy to clipboard

Şekil 5.1. Ana kriterlere ait hesaplamaların SuperDecisions programı ekran görüntüsü

Endüstriyel kaza potansiyeli açısından riskli kuruluşun kök neden temelli belirlenmesi amacıyla gerçekleştirilen çalışmada, ana kriterler için ikili karşılaştırmalar sonucunda İnsan Hataları kriteri %35 önem ile endüstriyel kazalarda en önemli kriter olarak öne çıkmıştır. Bunu sırasıyla %20 ile Ekipman Hataları kriteri ve %19 ile Proses Hataları kriteri izlemiştir. Tutarlılık oranı 0,06112 ile kabul edilebilir düzeyde çıkmıştır.

Yukarıda detaylı bir şekilde anlatılan öncelik ve tutarlılık hesaplama süreçleri, ana kritere ait 7 alt kriterin her biri için ayrı ayrı uygulanmıştır. Yönetim / Organizasyon Hataları kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 5.5.’te verilmiştir.

Çizelge 5.5. Yönetim / Organizasyon kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi

	Yeter siz güven lik planla rı	Yeters iz eğitim ler	Her türlü gelişm e ve değişim takipte yetersizlik	İlgili kurum/ kuruluş larla iş birliği yetersizli ği	Güvenli k perform ansı izleme yetersizli ği	Yanlış / eksik prosed ür ve talimat lar	Uygu n olmay an güven lik yönetim sistem i	Eksik veya uygun olmay an iletişim sistem i	Üreti m baskı sı	Mobbi ng
Yetersiz güvenlik planları	1,00	1,35	3,76	1,59	2,02	1,53	0,42	1,70	2,26	4,82
Yetersiz eğitimler	0,74	1,00	2,49	3,32	2,26	1,44	0,45	1,44	4,22	5,14
Her türlü gelişme ve değişimi takipte yetersizlik	0,27	0,40	1,00	0,95	0,32	0,21	0,19	0,41	1,92	3,05
İlgili kurum/kuruluşlarla iş birliği yetersizliği	0,63	0,30	1,06	1,00	0,64	0,21	0,19	0,34	1,69	3,62
Güvenlik performansı izleme yetersizliği	0,50	0,44	3,11	1,57	1,00	0,44	0,41	0,93	2,39	5,77
Yanlış/eksik prosedür ve talimatlar	0,66	0,69	4,79	4,70	2,28	1,00	0,41	2,40	3,97	7,11
Uygun olmayan güvenlik yönetim sistemi	2,40	2,20	5,16	5,20	2,47	2,45	1,00	5,92	3,88	6,90
Eksik veya uygun olmayan iletişim sistemi	0,59	0,69	2,44	2,96	1,07	0,42	0,17	1,00	1,96	3,93
Üretim baskısı	0,44	0,24	0,52	0,59	0,42	0,25	0,26	0,51	1,00	2,35
Mobbing	0,21	0,19	0,33	0,28	0,17	0,14	0,14	0,25	0,43	1,00

Yönetim / Organizasyon kriterine ait öncelik vektörleri ile tutarlılık oranının hesaplandığı SuperDecisions programından alınan ekran görüntüsü Şekil 5.2.'de verilmiştir.

1. Choose

Node Cluster

Choose Node

1.Yetersiz güv~

Cluster: Yönetim_Organiz~

Choose Cluster

Yönetim_Organi~

Restore

2. Node comparisons with respect to 1.Yetersiz güvenlik ~

Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct

Comparisons wrt "1.Yetersiz güvenlik planları" node in "Yönetim_Organizasyon" cluster

1.Yetersiz güvenlik planları is 1.35 times more important than 2.Yetersiz eğitimler

Inconsistency

2.Yetersiz~

3.Her tür~

4. İlgili ~

5. Güvenli~

6. Yanlış~

1.Yetersiz~

2.Yetersiz~

3.Her tür~

4. İlgili ~

5. Güvenli~

6. Yanlış~

1.35

3.76

1.59

2.02

1.53

2.49

3.32

2.26

1.44

1.06

3.110004

4.790

1.569999

4.699

2.280

Copy to clipboard

3. Results

Normal Hybrid

Inconsistency: 0.03656

1.Yetersiz~

2.Yetersiz~

3.Her tür~

4. İlgili~

5. Güvenli~

6. Yanlış~

7. Uygun ~

8. Eksik ~

9. Üretim~

10. Mobbi~

0.13328

0.13590

0.04402

0.05009

0.08447

0.15023

0.25974

0.08247

0.03940

0.02039

Completed Comparison

Copy to clipboard

Şekil 5.2. Yönetim / Organizasyon kriterine ait hesaplamaların SuperDecisions programı ekran görüntüsü

Yönetim / Organizasyon kriterine ait ikili karşılaştırmalar sonucunda “Uygun olmayan güvenlik yönetim sistemi” kriteri %26 ile en önemli kriter olarak öne çıkmıştır. Bunu sırasıyla %15 ile “Yanlış/eksik prosedür ve talimatlar” kriteri ve %14 ile “Yetersiz eğitimler” kriteri izlemiştir. Tutarlılık oranı ise 0,03656 ile kabul edilebilir düzeydedir. Proses Hataları kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 5.6.’da verilmiştir.

Çizelge 5.6. Proses hataları kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi

	Tehlikeli kontaminasyonlar	Tehlikeli faz oluşumları	Tehlikeli reaksiyonlar	Aşırı basınç	Aşırı sıcaklık	Aşırı doluluk oranı / seviyesi	Aktif güvenlik bariyerleri eksikliği/yetersizliği	Pasif güvenlik bariyerleri eksikliği/yetersizliği	Test edilmiş/ tecrübe edilmiş güvenlik bariyerleri	Proses kontrol eksikliği/yetersizliği
Tehlikeli kontaminasyonlar	1,00	0,83	0,58	0,27	0,29	0,51	0,23	0,17	0,21	0,15
Tehlikeli faz oluşumları	1,20	1,00	0,69	0,31	0,33	0,51	0,26	0,22	0,25	0,15
Tehlikeli reaksiyonlar	1,73	1,44	1,00	0,32	0,37	0,89	0,36	0,30	0,30	0,16
Aşırı basınç	3,67	3,27	3,11	1,00	0,78	1,94	0,52	0,37	0,42	0,18
Aşırı sıcaklık	3,43	3,05	2,72	1,28	1,00	1,94	0,52	0,37	0,46	0,18
Aşırı doluluk oranı/ seviyesi	1,94	1,94	1,12	0,51	0,51	1,00	0,51	0,35	0,44	0,19
Aktif güvenlik bariyerleri eksikliği/yetersizliği	4,41	3,83	2,77	1,92	1,92	1,97	1,00	1,94	0,49	0,35
Pasif güvenlik bariyerleri eksikliği/yetersizliği	5,94	4,60	3,32	2,69	2,69	2,84	0,51	1,00	0,33	0,37
Test edilmemiş/ tecrübe edilmemiş güvenlik bariyerleri	4,73	3,99	3,32	2,37	2,17	2,28	2,03	3,07	1,00	1,00
Proses kontrol eksikliği/yetersizliği	6,52	6,52	6,17	5,56	5,56	5,14	2,84	2,69	1,00	1,00

Proses hataları kriterine ait öncelik vektörleri ile tutarlılık oranının hesaplandığı SuperDecisions programından alınan ekran görüntüsü Şekil 5.3.'te verilmiştir.

1. Choose

Node Cluster

Choose Node ▶

1. Tehlikeli k~

Cluster: Proses Hataları

Choose Cluster ▶

Proses Hataları

2. Node comparisons with respect to 1. Tehlikeli kontami~

Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct

Comparisons wrt "1. Tehlikeli kontaminasyonlar" node in "Proses Hataları" cluster

2. Tehlikeli faz oluşumları is 1.2 times more important than 1. Tehlikeli kontaminasyonlar

Inconsistency	2. Tehlike~	3. Tehlike~	4. Aşın b~	5. Aşın ~	6. Aşın ~
1. Tehlike~	↑ 1.2	↑ 1.729995	↑ 3.669994	↑ 3.430002	↑ 1.94
2. Tehlike~		↑ 1.440001	↑ 3.270004	↑ 3.049995	↑ 1.94
3. Tehlike~			↑ 3.110004	↑ 2.72	↑ 1.12
4. Aşın b~				↑ 1.28	↓ 1.94
5. Aşın ~					↓ 1.94
6. Aşın ~					

3. Results

Normal ▾ Hybrid ▾

Inconsistency: 0.03251

1. Tehlik~	0.02595
2. Tehlik~	0.02955
3. Tehlik~	0.03876
4. Aşın ~	0.07477
5. Aşın ~	0.07474
6. Aşın ~	0.04974
7. Aktif ~	0.12207
8. Pasif ~	0.12580
9. Test e~	0.18727
10. Prose~	0.27134

Completed Comparison

Copy to clipboard

Şekil 5.3. Proses hataları kriterine ait hesaplamaların SuperDecisions programı ekran görüntüsü

Proses kriterine ait ikili karşılaştırmalar sonucunda “Proses kontrol eksikliği/ yetersizliği” kriteri, %27 ile en önemli kriter olarak öne çıkmıştır. Bunu sırasıyla %19 ile “Test edilmemiş/ tecrübe edilmemiş güvenlik bariyerleri” kriteri ve %13 ile “Pasif güvenlik bariyerleri eksikliği/ yetersizliği” kriteri izlemiştir. Tutarlılık oranı ise 0,03251 ile kabul edilebilir düzeydedir.

Ekipman Hataları kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 5.7.'de verilmiştir.

Çizelge 5.7. Ekipman hataları kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi

	Darb e	Sızınt ı	Titreş im	Korozyo n/ Elektro erozyon (EDM)	Mekani k gerilme / Kırılma / Kopma/ Yırtılma	Kimyas al hasar	Hatalı tasarım/ kurulu m/ montaj	Uygun olmayan ekipman yerleşimi / güvenlik mesafele ri	Uygun olmayan / elverişsi z bakım
Darbe	1,00	2,72	5,43	3,38	0,53	0,46	0,18	0,25	0,46
Sızıntı	0,37	1,00	3,56	0,51	0,28	0,30	0,18	0,20	0,36
Titreşim	0,18	0,28	1,00	0,24	0,21	0,20	0,16	0,18	0,25
Korozyo n/ Elektro erozyon (EDM)	0,30	1,94	4,17	1,00	0,53	0,51	0,25	1,03	0,44
Mekanik gerilme/ Kırılma/ Kopma/ Yırtılma	1,89	3,56	4,66	1,89	1,00	1,02	0,27	0,98	0,79
Kimyasal hasar	2,18	3,32	4,99	1,94	0,98	1,00	0,28	0,41	0,49
Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj	5,60	5,67	6,13	3,94	3,73	3,62	1,00	1,80	3,01
Uygun olmayan ekipman yerleşimi / güvenlik mesafeler i	3,94	5,10	5,67	0,97	1,02	2,47	0,56	1,00	2,96
Uygun olmayan/ elverişsiz bakım	2,16	2,76	4,05	2,26	1,26	2,05	0,33	0,34	1,00

Ekipman hataları kriterine ait öncelik vektörleri ile tutarlılık oranının hesaplandığı SuperDecisions programından alınan ekran görüntüsü Şekil 5.4.'te verilmiştir.

1. Choose	2. Node comparisons with respect to 1. Darbe	3. Results
Node Cluster Choose Node 1. Darbe Cluster: Ekipman Choose Cluster Ekipman Restore	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct Comparisons wrt "1. Darbe" node in "Ekipman" cluster 1. Darbe is 2.72 times more important than 2. Sızıntı Inconsistency 2. Sızıntı~ 3. Titreş~ 4. Korozyo~ 5. Mekanik~ 6. Kimyasa~ 1. Darbe ~ 2. Sızıntı~ 3. Titreş~ 4. Korozyo~ 5. Mekanik~ 6. Kimyasa~ Copy to clipboard	Normal Hybrid Inconsistency: 0.06592 1. Darbe 0.08097 2. Sızıntı 0.03787 3. Titreş~ 0.02196 4. Korozyo~ 0.06914 5. Mekanik~ 0.11014 6. Kimyas~ 0.09837 7. Hatalı~ 0.28678 8. Uygun ~ 0.17834 9. Uygun ~ 0.11644 Completed Comparison Copy to clipboard

Şekil 5.4. Ekipman kriterine ait hesaplamaların SuperDecisions programı ekran görüntüsü

Ekipman kriterine ait ikili karşılaştırmalar sonucunda “Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj” kriteri %29 ile en önemli kriter olarak öne çıkmıştır. Bunu sırasıyla %18 ile “Uygun olmayan ekipman yerleşimi/ güvenlik mesafeleri” kriteri ve %12 ile “Uygun olmayan/ elverişsiz bakım” kriteri izlemiştir. Tutarlılık oranı ise 0,06592 ile kabul edilebilir düzeydedir.

Domino etkisi kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 5.8.’de verilmiştir.

Çizelge 5.8. Domino etkisi kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi

	Jet yangını	Parlama yangını	Havuz/ Tank yangını	Taşma yangını (boil over)	Toz patlaması	Buhar Bulutu Patlaması	Termal Runaway (Kaçak reaksiyonu)	BLEVE-Şarapnel etkiler	BLEVE-Ateş topu	Toksik yayılım
Jet yangını	1,00	3,83	5,30	5,23	2,03	0,25	0,41	1,12	0,62	6,61
Parlama yangını	0,26	1,00	2,96	2,80	1,03	0,20	0,28	0,48	0,66	6,44
Havuz/ Tank yangını	0,19	0,34	1,00	0,98	1,03	0,16	0,19	0,17	0,17	5,60
Taşma yangını (boil over)	0,19	0,36	1,02	1,00	0,64	0,16	0,21	0,19	0,17	4,92
Toz patlaması	0,49	0,97	0,97	1,55	1,00	0,32	0,36	0,30	0,30	6,18
Buhar Bulutu Patlaması	3,99	4,88	6,17	6,34	3,15	1,00	1,42	1,50	1,50	8,28
Termal Runaway (Kaçak reaksiyonu)	2,47	3,51	5,37	4,66	2,81	0,70	1,00	0,95	0,95	6,52
BLEVE-Şarapnel etkiler	0,90	2,09	5,75	5,36	3,33	0,66	1,06	1,00	0,55	7,50
BLEVE-Ateş topu	1,62	1,51	5,99	5,99	3,33	0,66	1,06	1,82	1,00	7,50
Toksik yayılım	0,15	0,16	0,18	0,20	0,16	0,12	0,15	0,13	0,13	1,00

Domino etkisi kriterine ait öncelik vektörleri ile tutarlılık oranının hesaplandığı SuperDecisions programından alınan ekran görüntüsü Şekil 5.5.'te verilmiştir.

1. Choose

Node Cluster

Choose Node

1. Jet yangını

Cluster: Domino Etkisi

Choose Cluster

Domino Etkisi

Restore

2. Node comparisons with respect to 1. Jet yangını

Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct

Comparisons wrt "1. Jet yangını" node in "Domino Etkisi" cluster

1. Jet yangını is 3.83 times more important than 2. Parlama yangını

Inconsistency

	2. Parlama~	3. Havuz/ ~	4. Taşma ~	5. Toz pa~	6. Buhar B~
1. Jet yan~	3.83	5.3	5.23	2.03	3.989
2. Parlama~		2.96	2.8	1.03	4.880
3. Havuz/ ~			1.02	1.03	6.169
4. Taşma ~				1.550001	6.339
5. Toz pa~					3.150
6. Buhar B~					

Copy to clipboard

3. Results

Normal Hybrid

Inconsistency: 0.04924

Node	Weight
1. Jet ya~	0.12146
2. Parlam~	0.06547
3. Havuz/~	0.03405
4. Taşma ~	0.03197
5. Toz pa~	0.05308
6. Buhar ~	0.22499
7. Termal~	0.15965
8. BLEVE-~	0.13512
9. BLEVE-~	0.15964
10. Toksi~	0.01456

Completed Comparison

Copy to clipboard

Şekil 5.5. Domino etkisi kriterine ait hesaplamaların SuperDecisions programı ekran görüntüsü

Domino etkisi kriterine ait ikili karşılaştırmalar sonucunda “Buhar Bulutu Patlaması” kriteri %22 ile en önemli kriter olarak öne çıkmıştır. Bunu sırasıyla %16 ile “BLEVE-Ateş topu” kriteri ve %16 ile “Termal Runaway (Kaçak reaksiyonu)” kriteri izlemiştir. Tutarlılık oranı ise 0,04924 ile kabul edilebilir düzeydedir.

İnsan hataları kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 5.9.’da verilmiştir.

Çizelge 5.9. İnsan hataları kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi

	İhmal / Tedbirsizlik/ Umursamazlık	Dikkatsizlik / Dalgınlık	Acelecilik	Tecrübesizlik	Unutkanlık	İşe uygun özellikte olmama	Aşırı iş yükü/ yorgunluk	Alkol veya ilaç kullanımı	Tehlike ve riskler hakkında yetersiz bilgi	İş hakkında yetersiz bilgi/ bilgisizlik	Güvenlik kültürü eksikliği	İşletme körlüğü
İhmal/ Tedbirsizlik/ Umursamazlık	1,00	2,33	1,20	0,37	2,47	0,38	1,18	2,47	0,33	0,39	0,20	2,04
Dikkatsizlik/ Dalgınlık	0,43	1,00	2,12	0,26	1,62	0,54	0,63	2,17	0,46	0,48	0,33	1,26
Acelecilik	0,83	0,47	1,00	0,36	0,80	0,25	0,43	1,19	0,24	0,16	0,21	0,71
Tecrübesizlik	2,69	3,83	2,77	1,00	3,05	1,29	3,26	2,61	1,00	1,73	0,44	3,62
Unutkanlık	0,41	0,62	1,25	0,33	1,00	0,31	0,61	1,03	0,31	0,22	0,24	0,90
İşe uygun özellikte olmama	2,64	1,86	3,93	0,77	3,22	1,00	1,31	2,13	0,78	0,74	0,54	2,82
Aşırı iş yükü/ yorgunluk	0,85	1,60	2,32	0,31	1,63	0,76	1,00	1,32	0,57	0,83	0,53	2,45
Alkol veya ilaç kullanımı	0,41	0,46	0,84	0,38	0,97	0,47	0,75	1,00	0,51	0,23	0,49	0,96
Tehlike ve riskler hakkında yetersiz bilgi	3,00	2,17	4,21	1,00	3,27	1,28	1,76	1,94	1,00	0,83	0,74	3,52
İş hakkında yetersiz bilgi/ bilgisizlik	2,59	2,09	6,26	0,58	4,56	1,35	1,20	4,33	1,20	1,00	0,89	3,85
Güvenlik kültürü eksikliği	4,99	3,00	4,72	2,26	4,10	1,85	1,89	2,06	1,35	1,12	1,00	3,41
İşletme körlüğü	0,49	0,79	1,40	0,28	1,12	0,35	0,41	1,04	0,28	0,26	0,29	1,00

İnsan hataları kriterine ait öncelik vektörleri ile tutarlılık oranının hesaplandığı SuperDecisions programından alınan ekran görüntüsü Şekil 5.6.'da verilmiştir.

1. Choose	2. Node comparisons with respect to 1. İhmal/ Tedbirsizl~	3. Results
Node Cluster	Graphical Verbal Matrix Questionnaire Direct	Normal Hybrid
Choose Node	Comparisons wrt "1. İhmal/ Tedbirsizlik/ Umursamazlık" node in "İnsan Hatası" cluster	Inconsistency: 0.02915
1. İhmal/ Tedb~	1. İhmal/ Tedbirsizlik/ Umursamazlık is 2.33 times more important than 2. Dikkatsizlik/ Dalgınlık	1. İhmal/~ 0.06317
Cluster: İnsan Hatası	Inconsistency	2. Dikkat~ 0.05240
Choose Cluster	2. Dikkats~ 1.2	3. Acelec~ 0.03256
İnsan Hatası	3. Acelec~ 2.12	4. Tecrüb~ 0.13942
	4. Tecrüb~ 2.69000	5. Unutkan~ 0.03507
	5. Unutkan~ 1.62	6. İşe uyg~ 0.10303
	6. İşe uyg~ 1.860	7. Aşın ~ 0.07029
		8. Alkol ~ 0.04153
		9. Tehlik~ 0.12163
		10. İş ha~ 0.13563
		11. Güven~ 0.16842
		12. İşlet~ 0.03685
Restore	Copy to clipboard	Completed Comparison
		Copy to clipboard

Şekil 5.6. İnsan hataları kriterine ait hesaplamaların SuperDecisions programı ekran görüntüsü

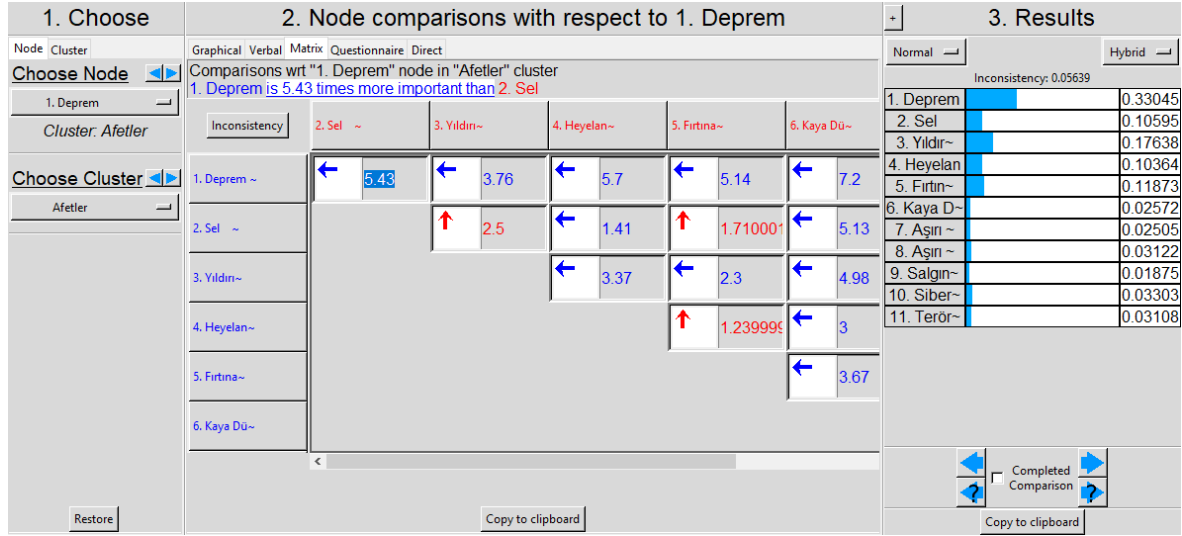
İnsan hatası kriterine ait ikili karşılaştırmalar sonucunda “Güvenlik kültürü eksikliği” kriteri %17 ile en önemli kriter olarak öne çıkmıştır. Bunu sırasıyla %14 ile “İş hakkında yetersiz bilgi/ bilgisizlik” kriteri ve %14 ile “Tecrübesizlik” kriteri izlemiştir. Tutarlılık oranı ise 0,02915 ile kabul edilebilir düzeydedir.

Afetler kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 5.10.’da verilmiştir.

Çizelge 5.10. Afetler kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi

	Deprem	Sel	Yıldırım	Heyelan	Fırtına/ Hortum	Kaya Düşmesi	Aşırı Sıcak dalga sı	Aşırı Soğuk dalga sı	Salgın Hastalık	Siber Saldırısı	Terör Eylemleri
Deprem	1,00	5,43	3,76	5,70	5,14	7,20	6,90	6,90	7,30	6,80	6,80
Sel	0,18	1,00	0,40	1,41	0,58	5,13	5,31	5,31	6,73	3,98	3,68
Yıldırım	0,27	2,50	1,00	3,37	2,30	4,98	5,70	5,70	5,92	5,67	6,17
Heyelan	0,18	0,71	0,30	1,00	0,81	3,00	5,14	5,14	6,26	5,46	5,77
Fırtına/ Hortum	0,19	1,71	0,44	1,24	1,00	3,67	4,99	4,99	5,43	5,01	6,28
Kaya Düşmesi	0,14	0,19	0,20	0,33	0,27	1,00	0,75	0,75	0,92	0,73	0,86
Aşırı Sıcak dalgası	0,14	0,19	0,18	0,19	0,20	1,33	1,00	0,58	2,47	0,50	0,45
Aşırı Soğuk dalgası	0,14	0,19	0,18	0,19	0,20	1,33	1,73	1,00	2,08	1,24	1,24
Salgın Hastalık	0,14	0,15	0,17	0,16	0,18	1,09	0,41	0,48	1,00	0,35	0,31
Siber Saldırısı	0,15	0,25	0,18	0,18	0,20	1,38	1,99	0,81	2,89	1,00	1,44
Terör Eylemleri	0,15	0,27	0,16	0,17	0,16	1,16	2,23	0,81	3,23	0,69	1,00

Afetler kriterine ait öncelik vektörleri ile tutarlılık oranının hesaplandığı SuperDecisions programından alınan ekran görüntüsü Şekil 5.7.'de verilmiştir.



Şekil 5.7. Afetler kriterine ait hesaplamaların SuperDecisions programı ekran görüntüsü

Afetler kriterine ait ikili karşılaştırmalar sonucunda “Deprem” kriteri %33 ile en önemli kriter olarak öne çıkmıştır. Bunu sırasıyla %18 ile “Yıldırım” kriteri ve %12 ile “Fırtına/Hortum” kriteri izlemiştir. Tutarlılık oranı ise 0,05639 ile kabul edilebilir düzeydedir.

Sabotaj kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi Çizelge 5.11.’de verilmiştir.

Çizelge 5.11. Sabotaj kriterine ait ikili karşılaştırma matrisi

	Yangınla Sabotaj	Patlayıcı Maddelerle Sabotaj	Mekanik Sabotaj	Bakteriyolojik ve Kimyasal Sabotaj	Fikri Sabotaj	Psikolojik Sabotaj
Yangınla Sabotaj	1,00	0,46	4,46	5,77	8,83	8,83
Patlayıcı Maddelerle Sabotaj	2,17	1,00	5,59	7,61	9,00	9,00
Mekanik Sabotaj	0,22	0,18	1,00	3,23	5,36	5,36
Bakteriyolojik ve Kimyasal Sabotaj	0,17	0,13	0,31	1,00	4,55	4,55
Fikri Sabotaj	0,11	0,11	0,19	0,22	1,00	0,92
Psikolojik Sabotaj	0,11	0,11	0,19	0,22	1,09	1,00

Sabotaj kriterine ait öncelik vektörleri ile tutarlılık oranının hesaplandığı SuperDecisions programından alınan ekran görüntüsü Şekil 5.8.’de verilmiştir.

Çizelge 5.13. Alt kriterlere ait ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı

Ana Kriter	Alt Kriter	Ağırlık Değeri / Öncelik Vektörü
Yönetim / Organizasyon Hataları CR = 0,03656 < 0,1	Yetersiz güvenlik planları	0,13
	Yetersiz eğitimler	0,14
	Her türlü gelişme ve değişimi takipte yetersizlik	0,04
	İlgili kurum/ kuruluşlarla iş birliği yetersizliği	0,05
	Güvenlik performansı izleme yetersizliği	0,08
	Yanlış/eksik prosedür ve talimatlar	0,15
	Uygun olmayan güvenlik yönetim sistemi	0,26
	Eksik veya uygun olmayan iletişim sistemi	0,08
	Üretim baskısı	0,04
	Mobbing	0,02
Proses Hatası CR = 0,03251 < 0,1	Tehlikeli kontaminasyonlar	0,03
	Tehlikeli faz oluşumları	0,03
	Tehlikeli reaksiyonlar	0,04
	Aşırı basınç	0,07
	Aşırı sıcaklık	0,07
	Aşırı doluluk oranı/ seviyesi	0,05
	Aktif güvenlik bariyerleri eksikliği/ yetersizliği	0,12
	Pasif güvenlik bariyerleri eksikliği/ yetersizliği	0,13
	Test edilmemiş/ tecrübe edilmemiş güvenlik bariyerleri	0,19
	Proses kontrol eksikliği/ yetersizliği	0,27

Çizelge 5.13. (devam) Alt kriterlere ait ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı

Ana Kriter	Alt Kriter	Ağırlık Değeri / Öncelik Vektörü
Ekipman Hatası CR = 0,06592 < 0,1	Darbe	0,08
	Sızıntı	0,04
	Titreşim	0,02
	Korozyon/ Elektro erozyon (EDM)	0,07
	Mekanik gerilme/ Kırılma/ Kopma/ Yırtılma	0,11
	Kimyasal hasar	0,10
	Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj	0,29
	Uygun olmayan ekipman yerleşimi/ güvenlik mesafeleri	0,18
	Uygun olmayan/ elverişsiz bakım	0,12
Domino Etkisi CR = 0,04924 < 0,1	Jet yangını	0,12
	Parlama yangını	0,07
	Havuz/ Tank yangını	0,03
	Taşma yangını (boil over)	0,03
	Toz patlaması	0,05
	Buhar Bulutu Patlaması	0,22
	Termal Runaway (Kaçak reaksiyonu)	0,16
	BLEVE-Şarapnel etkiler	0,14
	BLEVE-Ateş topu	0,16
	Toksik yayılım	0,01
	İhmal/ Tedbirsizlik/ Umursamazlık	0,06
İnsan Hatası CR = 0,02915 < 0,1	Dikkatsizlik/ Dalgınlık	0,05
	Acelecilik	0,03
	Tecrübesizlik	0,14
	Unutkanlık	0,04
	İşe uygun özellikte olmama	0,10
	Aşırı iş yükü/ yorgunluk	0,07
	Alkol veya ilaç kullanımı	0,04
	Tehlike ve riskler hakkında yetersiz bilgi	0,12
	İş hakkında yetersiz bilgi/ bilgisizlik	0,14
	Güvenlik kültürü eksikliği	0,17
	İşletme körlüğü	0,04

Çizelge 5.13. (devam) Alt kriterlere ait ağırlık değerleri ve tutarlılık oranı

Ana Kriter	Alt Kriter	Ağırlık Değeri / Öncelik Vektörü
Afetler CR = 0,05639 < 0,1	Deprem	0,33
	Sel	0,11
	Yıldırım	0,18
	Heyelan	0,10
	Fırtına/ Hortum	0,12
	Kaya Düşmesi	0,03
	Aşırı Sıcak dalgası	0,03
	Aşırı Soğuk dalgası	0,03
	Salgın Hastalık	0,02
	Siber Saldırı	0,03
	Terör Eylemleri	0,03
Sabotaj CR = 0,07405 < 0,1	Yangınla Sabotaj	0,31
	Patlayıcı Maddelerle Sabotaj	0,44
	Mekanik Sabotaj	0,12
	Bakteriyolojik ve Kimyasal Sabotaj	0,07
	Fikri Sabotaj	0,03
	Psikolojik Sabotaj	0,03

5.2. Endüstriyel Kaza Açısından Kök Nedenlere Göre Riskli Kuruluşun Belirlenmesi

Endüstriyel kaza açısından daha riskli olan kuruluşu belirlemek amacıyla mevzuat kapsamına giren 3 endüstriyel kuruluşta uygulama yapılmıştır . Yine AHP analizi ile ağırlıkları belirlenen alt kriterler bazında ikili karşılaştırma matrisleri hazırlanmış ve Şekil 5.9.'daki hiyerarşik şema oluşturulmuştur. Uygulama yapılan endüstriyel kuruluşların yerleri Şekil 5.10.'da gösterilmiştir.

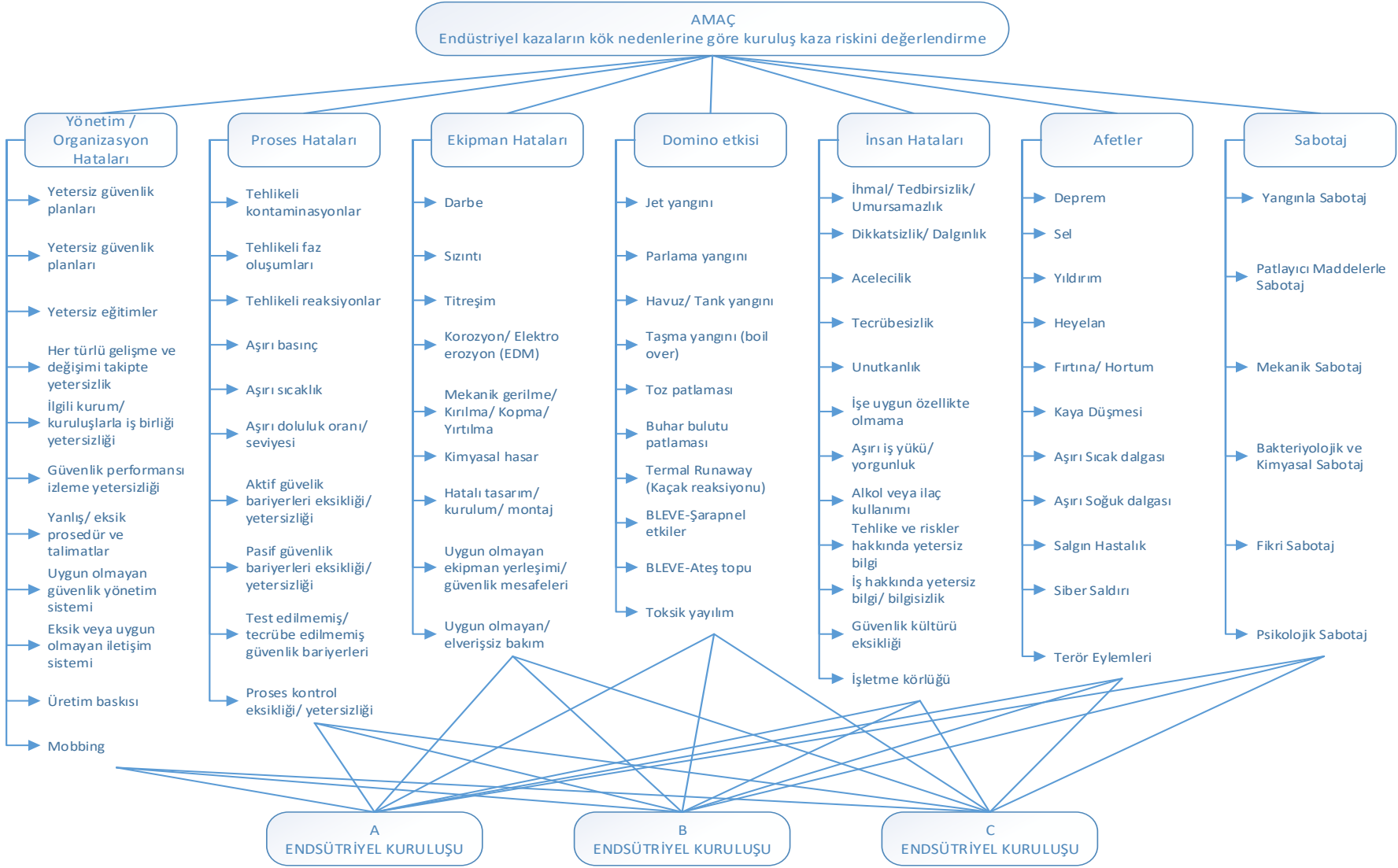
Örnek uygulama gerçekleştirilen kuruluşların tamamı Ankara ilinde faaliyet gösteren üst seviyeli kuruluşlardır.

A kuruluşu 1990'lı yıllarda kurulmuş olup patlayıcı üretim kuruluşudur. Kuruluş bünyesinde; Amonyum Nitrat, Paketli Emülsiyon Patlayıcılar, PIBS, Sodyum Tiyosiyanat, Monoe Thanol Amin, Sodyum Nitrat, Sodyum Perklorat, Sodyum Nitrit, Asetik Asit, Tiyoüre, EXAN vb. kimyasallar kullanılmaktadır.

B kuruluğu 1960'lı yıllarda kurulmuş olup LPG dolum kuruluğuğur. Kuruluđu bünyesinde; Özel forklift tüpü, Marinegas, LPGPRO, CUTPRO, İZOPRO, BETOPRO vb. ürünlerin dolumu yapılmaktadır.

C kuruluğu 2000'li yıllarda kurulmuş olup LPG depolama ve dolum kuruluğuğur. Kuruluđu bünyesinde; tank sahası, dolum adası, LPG pompaları, yangın pompaları, gaz kompresörleri, vb. birçok ekipman bulunmaktadır.

Şekil 5.9. Endüstriyel kazaların kök nedenlerine göre kuruluş kaza riski değerlendirme şeması



Çizelge 5.16. Her türlü gelişme ve değişimi takipte yetersizlik alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,167	1,750	0,412
B Kuruluşu	0,857	1,000	1,500	0,353
C Kuruluşu	0,571	0,667	1,000	0,235
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.17. İlgili kurum/ kuruluşlarla iş birliği yetersizliği alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,000	1,250	0,357
B Kuruluşu	1,000	1,000	1,250	0,357
C Kuruluşu	0,800	0,800	1,000	0,286
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.18. Güvenlik performansı izleme yetersizliği alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,875	1,400	0,350
B Kuruluşu	1,143	1,000	1,600	0,400
C Kuruluşu	0,714	0,625	1,000	0,250
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.19. Yanlış/eksik prosedür ve talimatlar alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,000	1,400	0,368
B Kuruluşu	1,000	1,000	1,400	0,368
C Kuruluşu	0,714	0,714	1,000	0,263
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.20. Uygun olmayan güvenlik yönetim sistemi alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,778	1,167	0,318
B Kuruluşu	1,286	1,000	1,500	0,409
C Kuruluşu	0,857	0,667	1,000	0,273
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.21. Eksik veya uygun olmayan iletişim sistemi alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,714	1,667	0,333
B Kuruluşu	1,400	1,000	2,333	0,467
C Kuruluşu	0,600	0,429	1,000	0,200
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.22. Üretim baskısı alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,875	2,333	0,389
B Kuruluşu	1,143	1,000	2,667	0,444
C Kuruluşu	0,429	0,375	1,000	0,167
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.23. Mobbing alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,167	2,333	0,438
B Kuruluşu	0,857	1,000	2,000	0,375
C Kuruluşu	0,429	0,500	1,000	0,188
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Proses hataları ana kriterinin alt kriterleri

Proses hataları kriterine ait alt kriterlerin alternatifler bazında karşılaştırma matrisleri ve hesaplamalar ile elde edilen öncelik vektörleri ve tutarlılık oranları Çizelge 5.24-5.33'te verilmiştir.

Çizelge 5.24. Tehlikeli kontaminasyonlar alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,167	1,400	0,389
B Kuruluşu	0,857	1,000	1,200	0,333
C Kuruluşu	0,714	0,833	1,000	0,278
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.25. Tehlikeli faz oluşumları alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,000	1,750	0,389
B Kuruluşu	1,000	1,000	1,750	0,389
C Kuruluşu	0,571	0,571	1,000	0,222
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.26. Tehlikeli reaksiyonlar alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,000	2,333	0,412
B Kuruluşu	1,000	1,000	2,333	0,412
C Kuruluşu	0,429	0,429	1,000	0,176
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.27. Aşırı basınç alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,778	1,400	0,333
B Kuruluşu	1,286	1,000	1,800	0,429
C Kuruluşu	0,714	0,556	1,000	0,238
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.28. Aşırı sıcaklık alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,875	2,333	0,389
B Kuruluşu	1,143	1,000	2,667	0,444
C Kuruluşu	0,429	0,375	1,000	0,167
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.29. Aşırı doluluk oranı/ seviyesi alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,875	2,333	0,389
B Kuruluşu	1,143	1,000	2,667	0,444
C Kuruluşu	0,429	0,375	1,000	0,167
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.30. Aktif güvelik bariyerleri eksikliği/ yetersizliği alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,556	1,250	0,278
B Kuruluşu	1,800	1,000	2,250	0,500
C Kuruluşu	0,800	0,444	1,000	0,222
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.31. Pasif güvenlik bariyerleri eksikliği/ yetersizliği alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,429	0,500	0,188
B Kuruluşu	2,333	1,000	1,167	0,438
C Kuruluşu	2,000	0,857	1,000	0,375
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.32. Test edilmemiş/ tecrübe edilmemiş güvenlik bariyerleri alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,833	1,000	0,313
B Kuruluşu	1,200	1,000	1,200	0,375
C Kuruluşu	1,000	0,833	1,000	0,313
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.33. Proses kontrol eksikliği/ yetersizliği alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,833	1,250	0,333
B Kuruluşu	1,200	1,000	1,500	0,400
C Kuruluşu	0,800	0,667	1,000	0,267
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Ekipman hataları ana kriterinin alt kriterleri

Ekipman hataları kriterine ait alt kriterlerin alternatifler bazında karşılaştırma matrisleri ve hesaplamalar ile elde edilen öncelik vektörleri ve tutarlılık oranları Çizelge 5.34-5.41’de verilmiştir.

Çizelge 5.34. Darbe alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,500	3,000	0,300
B Kuruluşu	2,000	1,000	6,000	0,600
C Kuruluşu	0,333	0,167	1,000	0,100
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.35. Sızıntı alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,375	1,500	0,231
B Kuruluşu	2,667	1,000	4,000	0,615
C Kuruluşu	0,667	0,250	1,000	0,154
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.36. Titreşim alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,500	1,500	0,273
B Kuruluşu	2,000	1,000	3,000	0,545
C Kuruluşu	0,667	0,333	1,000	0,182
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.37. Korozyon/ Elektro erozyon (EDM) alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,333	1,000	0,200
B Kuruluşu	3,000	1,000	3,000	0,600
C Kuruluşu	1,000	0,333	1,000	0,200
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.38. Mekanik gerilme/ Kırılma/ Kopma/ Yırtılma alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,625	1,667	0,313
B Kuruluşu	1,600	1,000	2,667	0,500
C Kuruluşu	0,600	0,375	1,000	0,188
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.39. Kimyasal hasar alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,714	1,250	0,313
B Kuruluşu	1,400	1,000	1,750	0,438
C Kuruluşu	0,800	0,571	1,000	0,250
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.40. Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,875	1,400	0,350
B Kuruluşu	1,143	1,000	1,600	0,400
C Kuruluşu	0,714	0,625	1,000	0,250
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.41. Uygun olmayan ekipman yerleşimi/ güvenlik mesafeleri alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,875	1,400	0,350
B Kuruluşu	1,143	1,000	1,600	0,400
C Kuruluşu	0,714	0,625	1,000	0,250
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.42. Uygun olmayan/ elverişsiz bakım alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,778	1,400	0,333
B Kuruluşu	1,286	1,000	1,800	0,429
C Kuruluşu	0,714	0,556	1,000	0,238
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Domino etkisi ana kriterinin alt kriterleri

Domino etkisi kriterine ait alt kriterlerin alternatifler bazında karşılaştırma matrisleri ve hesaplamalar ile elde edilen öncelik vektörleri ve tutarlılık oranları Çizelge 5.42-5.51’de verilmiştir.

Çizelge 5.43. Jet yangını alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,875	1,400	0,350
B Kuruluşu	1,143	1,000	1,600	0,400
C Kuruluşu	0,714	0,625	1,000	0,250
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.44. Parlama yangını alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,875	1,400	0,350
B Kuruluşu	1,143	1,000	1,600	0,400
C Kuruluşu	0,714	0,625	1,000	0,250
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.45. Havuz/ Tank yangını alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,571	1,333	0,286
B Kuruluşu	1,750	1,000	2,333	0,500
C Kuruluşu	0,750	0,429	1,000	0,214
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.46. Taşma yangını (boil over) alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,667	2,000	0,333
B Kuruluşu	1,500	1,000	3,000	0,500
C Kuruluşu	0,500	0,333	1,000	0,167
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.47. Toz patlaması alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,714	1,667	0,333
B Kuruluşu	1,400	1,000	2,333	0,467
C Kuruluşu	0,600	0,429	1,000	0,200
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.48. Buhar Bulutu Patlaması alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,714	1,667	0,333
B Kuruluşu	1,400	1,000	2,333	0,467
C Kuruluşu	0,600	0,429	1,000	0,200
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.49. Termal Runaway (Kaçak reaksiyonu) alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,833	1,250	0,333
B Kuruluşu	1,200	1,000	1,500	0,400
C Kuruluşu	0,800	0,667	1,000	0,267
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.50. BLEVE-Şarapnel etkiler alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,625	0,833	0,263
B Kuruluşu	1,600	1,000	1,333	0,421
C Kuruluşu	1,200	0,750	1,000	0,316
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.51. BLEVE-Ateş topu alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,625	1,667	0,313
B Kuruluşu	1,600	1,000	2,667	0,500
C Kuruluşu	0,600	0,375	1,000	0,188
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.52. Toksik yayılım alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,667	2,000	0,333
B Kuruluşu	1,500	1,000	3,000	0,500
C Kuruluşu	0,500	0,333	1,000	0,167
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

İnsan hataları ana kriterinin alt kriterleri

İnsan hataları kriterine ait alt kriterlerin alternatifler bazında karşılaştırma matrisleri ve hesaplamalar ile elde edilen öncelik vektörleri ve tutarlılık oranları Çizelge 5.53-5.64'te verilmiştir.

Çizelge 5.53. İhmal/ Tedbirsizlik/ Umursamazlık alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,125	3,000	0,450
B Kuruluşu	0,889	1,000	2,667	0,400
C Kuruluşu	0,333	0,375	1,000	0,150
Tutarlılık Oranı	0,0001<0,1			

Çizelge 5.54. Dikkatsizlik/ Dalgınlık alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,286	3,000	0,474
B Kuruluşu	0,778	1,000	2,333	0,368
C Kuruluşu	0,333	0,429	1,000	0,158
Tutarlılık Oranı	0,0001<0,1			

Çizelge 5.55. Acelecilik alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,286	2,250	0,450
B Kuruluşu	0,778	1,000	1,750	0,350
C Kuruluşu	0,444	0,571	1,000	0,200
Tutarlılık Oranı	0,0001<0,1			

Çizelge 5.56. Tecrübesizlik alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,800	1,800	0,474
B Kuruluşu	0,556	1,000	1,000	0,263
C Kuruluşu	0,556	1,000	1,000	0,263
Tutarlılık Oranı	0,0001<0,1			

Çizelge 5.57. Unutkanlık alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,167	2,333	0,438
B Kuruluşu	0,857	1,000	2,000	0,375
C Kuruluşu	0,429	0,500	1,000	0,188
Tutarlılık Oranı	0,0001<0,1			

Çizelge 5.58. İşe uygun özellikte olmama alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,500	3,000	0,500
B Kuruluşu	0,667	1,000	2,000	0,333
C Kuruluşu	0,333	0,500	1,000	0,167
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.59. Aşırı iş yükü/ yorgunluk alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,875	2,333	0,389
B Kuruluşu	1,143	1,000	2,667	0,444
C Kuruluşu	0,429	0,375	1,000	0,167
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.60. Alkol veya ilaç kullanımı alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,286	2,250	0,450
B Kuruluşu	0,778	1,000	1,750	0,350
C Kuruluşu	0,444	0,571	1,000	0,200
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.61. Tehlike ve riskler hakkında yetersiz bilgi alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,875	1,400	0,350
B Kuruluşu	1,143	1,000	1,600	0,400
C Kuruluşu	0,714	0,625	1,000	0,250
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.62. İş hakkında yetersiz bilgi/ bilgisizlik alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,286	1,800	0,429
B Kuruluşu	0,778	1,000	1,400	0,333
C Kuruluşu	0,556	0,714	1,000	0,238
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.63. Güvenlik kültürü eksikliği alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,778	2,333	0,368
B Kuruluşu	1,286	1,000	3,000	0,474
C Kuruluşu	0,429	0,333	1,000	0,158
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.64. İşletme körlüğü alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,000	2,250	0,409
B Kuruluşu	1,000	1,000	2,250	0,409
C Kuruluşu	0,444	0,444	1,000	0,182
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Afetler ana kriterinin alt kriterleri

Afetler kriterine ait alt kriterlerin alternatifler bazında karşılaştırma matrisleri ve hesaplamalar ile elde edilen öncelik vektörleri ve tutarlılık oranları Çizelge 5.65-5.75'te verilmiştir.

Çizelge 5.65. Deprem alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,143	0,500	0,100
B Kuruluşu	7,000	1,000	3,500	0,700
C Kuruluşu	2,000	0,286	1,000	0,200
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.66. Sel alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,200	0,333	0,111
B Kuruluşu	5,000	1,000	1,667	0,556
C Kuruluşu	3,000	0,600	1,000	0,333
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.67. Yıldırım alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,167	1,750	0,412
B Kuruluşu	0,857	1,000	1,500	0,353
C Kuruluşu	0,571	0,667	1,000	0,235
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.68. Heyelan alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,200	0,500	0,125
B Kuruluşu	5,000	1,000	2,500	0,625
C Kuruluşu	2,000	0,400	1,000	0,250
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.69. Fırtına/ hortum alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,200	0,500	0,125
B Kuruluşu	5,000	1,000	2,500	0,625
C Kuruluşu	2,000	0,400	1,000	0,250
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.70. Kaya düşmesi alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,250	1,000	0,167
B Kuruluşu	4,000	1,000	4,000	0,667
C Kuruluşu	1,000	0,250	1,000	0,167
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.71. Aşırı sıcak dalgası alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,250	1,000	0,167
B Kuruluşu	4,000	1,000	4,000	0,667
C Kuruluşu	1,000	0,250	1,000	0,167
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.72. Aşırı soğuk dalgası alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,250	1,000	0,167
B Kuruluşu	4,000	1,000	4,000	0,667
C Kuruluşu	1,000	0,250	1,000	0,167
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.73. Salgın hastalık alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,833	2,500	0,385
B Kuruluşu	1,200	1,000	3,000	0,462
C Kuruluşu	0,400	0,333	1,000	0,154
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.74. Siber saldırı alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,000	1,667	0,385
B Kuruluşu	1,000	1,000	1,667	0,385
C Kuruluşu	0,600	0,600	1,000	0,231
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.75. Terör eylemleri alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,167	0,500	0,111
B Kuruluşu	6,000	1,000	3,000	0,667
C Kuruluşu	2,000	0,333	1,000	0,222
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Sabotaj ana kriterinin alt kriterleri

Sabotaj kriterine ait alt kriterlerin alternatifler bazında karşılaştırma matrisleri ve hesaplamalar ile elde edilen öncelik vektörleri ve tutarlılık oranları Çizelge 5.76-5.81’de verilmiştir.

Çizelge 5.76. Yangınla sabotaj alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,125	2,250	0,429
B Kuruluşu	0,889	1,000	2,000	0,381
C Kuruluşu	0,444	0,500	1,000	0,190
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.77. Patlayıcı maddelerle sabotaj alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,125	1,800	0,409
B Kuruluşu	0,889	1,000	1,600	0,364
C Kuruluşu	0,556	0,625	1,000	0,227
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.78. Mekanik sabotaj alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,000	2,000	0,400
B Kuruluşu	1,000	1,000	2,000	0,400
C Kuruluşu	0,500	0,500	1,000	0,200
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.79. Bakteriyolojik ve kimyasal sabotaj alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	0,500	1,500	0,273
B Kuruluşu	2,000	1,000	3,000	0,545
C Kuruluşu	0,667	0,333	1,000	0,182
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.80. Fikri sabotaj alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,750	3,500	0,538
B Kuruluşu	0,571	1,000	2,000	0,308
C Kuruluşu	0,286	0,500	1,000	0,154
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Çizelge 5.81. Psikolojik sabotaj alt kriteri hesaplamaları

	A Kuruluşu	B Kuruluşu	C Kuruluşu	Öncelik Vektörü
A Kuruluşu	1,000	1,400	3,500	0,500
B Kuruluşu	0,714	1,000	2,500	0,357
C Kuruluşu	0,286	0,400	1,000	0,143
Tutarlılık Oranı				0,0001<0,1

Endüstriyel kaza açısından daha riskli olan kuruluşu belirlemek amacıyla bu noktaya kadar yapılan hesaplamalar her bir kuruluşun amaca yönelik göreceli ağırlığının tespiti için; kuruluşların alt kriter bazında öneminin, alt kriterin göreceli ağırlığı ve bağlı olduğu ana kriterin göreceli ağırlığının çarpılmasıyla Eşitlik 5.1’de verildiği şekilde hesaplanmaktadır.

$$S_l = \sum_{i=1, j=1}^{nm} w_i v_{ij} p_{ijl} \quad (5.1)$$

S_l : l’inci kuruluşun AHP analizi sonucunda sıralamasını gösteren göreceli ağırlığını

w_i : i’inci ana kriterin ağırlığını

v_{ij} : i’inci ana kritere ait j’inci alt kriterin ağırlığını

p_{ijl} : i’inci ana kritere ait j’inci alt kriterin l’inci kuruluş için ağırlığını ifade etmektedir.

$$i = 1, 2 \dots n, j = 1, 2 \dots m$$

Yukarıdaki eşitlik gereğince hesaplama gerçekleştirildiğinde her bir kuruluşun amaca yönelik göreceli ağırlığının AHP analizi ile tespit edilen puanları aşağıdaki gibidir. Ayrıntılı hesaplamalar EK-2’de verilmiştir.

$$S_1=0,354 \text{ (A Kuruluşu)}$$

$$S_2=0,420 \text{ (B Kuruluşu)}$$

$$S_3=0,226 \text{ (C Kuruluşu)}$$

Endüstriyel kaza açısından daha riskli olan kuruluşu belirlemek amacıyla örnek kuruluşlarda toplam ağırlıklar dikkate alınarak yapılan hesaplamalar sonucunda; en yüksek endüstriyel kaza riski puanını 0,420 değeri ile B kuruluşu, ikinci sırayı 0,354 değeri ile A kuruluşu, son sırayı ise 0,226 değeri ile A kuruluşu almıştır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tez çalışmasında, endüstriyel kazaların kök nedenlerine göre kuruluş kaza riskinin Analitik Hiyerarşi Prosesi (AHP) ile değerlendirilmesi, geçmiş kaza verilerinin Pareto Analizi ve literatür araştırması üzerinden tespit edilen kök neden temelli ana ve alt kriterler üzerinden gerçekleştirilmiştir. Ana kriterler ve alt kriterlerin ağırlıkları, AHP analizi ile uzman görüşleri üzerinden tespit edilmiştir. Belirlenen kriter ağırlıkları dikkate alınarak ikinci bir AHP analizi ile örnek üç endüstriyel kuruluş endüstriyel kaza riski açısından sıralanmıştır. Tez çalışmanın aşamaları aşağıdaki şekilde özetlenebilir:

- Ana ve alt kriterleri belirlemek ve kök neden analizinin problemi anlama aşamasını gerçekleştirebilmek için ilk aşamada, kimya sektöründe faaliyet gösteren iş yerleri seçilmiş ve SGK istatistikleri kullanılarak seçilen iş yerlerinde 2015-2020 yılları arasında yaşanmış ölümlü ve uzuv kayıplı iş kazası verileri toplanarak kritik olaylar belirlenmeye çalışılmış ve literatür araştırması gerçekleştirilmiştir.
- Ardından problem nedenine yönelik fikirlerin belirlenmesi için literatür araştırmasının yanında uzman görüşleri de dikkate alınarak beyin fırtınası tekniği kullanılarak ana ve alt kriterler oluşturulmaya başlanmıştır.
- Kök neden analizinin veri analizi sürecini gerçekleştirmek için toplanan veriler Pareto analizi ile değerlendirilmiş, Pareto analizi sonrasında endüstriyel kazaların kök nedeni olabilecek ana kriterler ve alt kriterler belirlenmiştir. Ana ve alt kriterler için anketler oluşturulmuş ve kriterlerin değerlendirilmesi AHP analizi ile gerçekleştirilmiştir. Konusunda uzman 6 kişiye anketler uygulanarak kriter ağırlıkları hesaplanmıştır.
- Son aşamada, yine AHP analizi uygulanarak saha incelemeleri ve uzman görüşleri üzerinden örnek 3 endüstriyel kuruluş, endüstriyel kaza riski açısından karşılaştırılarak en riskli kuruluş belirlenmiştir.

Literatürde çeşitli çok kriterli karar verme yöntemleri mevcuttur. Bu yöntemlerden birisi olan AHP analizi; hesaplamasının kolay olması, birden fazla karar vericinin ortak karar vermesine olanak sağlaması ve hiyerarşik yapısı nedeniyle karmaşık görülen problemleri kolaylaştırması nedeniyle öne çıkmakta ve sıkça kullanılmaktadır (Ayçin, 2019, Turan, G., 2015, Dinçer vd. 2011). Bu çalışmada da öne çıkan özelliklerinin yanında kriterlerin göreceli ağırlıklarının tespit edilmesine imkan sağlaması nedeniyle de AHP analizi kullanılmıştır.

Gerçekleştirilen çalışmanın sonucunda kök neden olabilecek özgün yedi ana kriter ve 69 alt kritere ait önem dereceleri aşağıdaki şekilde belirlenmiştir.

Ana kriterlere ait ikili karşılaştırmalar sonucunda; “insan hataları”, %35 önem ile endüstriyel kazalarda en önemli kriter olarak öne çıkmıştır. Bunu sırasıyla %20 ile ekipman hataları ve %19 ile proses hataları izlemiştir.

Alt kriterlere ait ikili karşılaştırmalar sonucunda:

- Yönetim / Organizasyon kriterine ait “Uygun olmayan güvenlik yönetim sistemi” kriterinin %26,
- Proses kriterine ait “Proses kontrol eksikliği/ yetersizliği” kriterinin %27,
- Ekipman kriterine ait “Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj” kriterinin %29,
- Domino etkisi kriterine ait “Buhar Bulutu Patlaması” kriterinin %22,
- İnsan hatası kriterine ait “Güvenlik kültürü eksikliği” kriterinin %17,
- Afetler kriterine ait “Deprem” kriterinin %33,
- Sabotaj kriterine ait “Patlayıcı Maddelerle Sabotaj” kriterinin %44

oranlar ile en önemli kriterler olarak belirlenmiştir.

Endüstriyel kaza riski açısından kök nedenlere göre kuruluşları değerlendirmek amacıyla 3 örnek kuruluştaki yapılan analizler sonucunda; en yüksek endüstriyel kaza riski puanını 0,420 değeri ile B kuruluşu, ikinci sırayı 0,354 değeri ile A kuruluşu, son sırayı ise 0,226 değeri ile C kuruluşunun aldığı görülmüştür.

Çalışmanın sonuçları, daha önce konuya yönelik gerçekleştirilen çalışmalarda elde edilen sonuçlarla da paralellik göstermiştir. Bu çalışmalarda; endüstriyel kazaların kök nedenlerine yönelik elde edilen bazı sonuçlar aşağıda sunulmuştur:

- Özdemir vd. (2018), insan faktörleri ve yönetim eksikliğini vurgulamışlardır.
- Zhang vd.(2020), güvenlik kültürünün önemini vurgulamışlardır.
- Botti vd. (2020), uygunsuz bir prosedürün gönüllü olarak benimsenmesi, risk kontrol önleminin atlanması, ekipmanın uygunsuz kullanımı ve koordinasyon eksikliğini vurgulamışlardır.
- Singh vd. (2020), hasarlı / bozulmuş / kötü bakımı yapılmış ekipman, sıcak metal / çelik ve cürufu vurgulamışlardır.

Endüstriyel kazaların kök nedenleri olarak analiz edilen önemli sayıdaki ana ve alt kriterlerden sağlanan önem derecelerinin, endüstriyel kaza meydana gelebilecek kuruluşlarda yapılacak risk analizlerinde öncelikle dikkat edilmesi gereken unsurları belirlediği düşünülmektedir. Bu kapsamda aşağıdaki çıkarımlar elde edilmiştir:

- “İnsan hataları” kriterinin sahip olduğu yüksek önem ağırlığı, ilgili kuruluş personellerinin; öncelikle güvenlik kültürü, yapılan iş ve prosesler hakkında yeterli ve tecrübeye sahip olması gerektiğini göstermiştir.
- “Ekipman hataları” kriterinin sahip olduğu yüksek önem ağırlığı ilgili kuruluşlarda; hatalı tasarım/ kurulum/ montaj, uygun olmayan ekipman yerleşimi/ güvenlik mesafeleri ve uygun olmayan/ elverişsiz bakım hususlarının öncelikli olarak dikkate alınması gerektiğini ortaya koymuştur.
- “Proses hataları” kriterinin sahip olduğu yüksek önem ağırlığı ilgili kuruluşların; proses kontrol eksikliği/ yetersizliği, test edilmemiş/ tecrübe edilmemiş güvenlik bariyerleri ve pasif güvenlik bariyerleri eksikliği/ yetersizliği unsurlarını özellikle analiz etmesi gerektiğini göstermiştir.

Endüstriyel kazaların kök nedenlerine göre kuruluş kaza riskinin değerlendirilmesinde kullanılan ve ÇKKV metotlarından biri olan AHP analizinin; birden çok kriterin karşılaştırılmasını amaçlayan bu tarz problemlerde uygun bir analiz olduğu gösterilmiştir. AHP analizi ile nicel ve nitel değerlendirme kriterleri eş zamanlı olarak modele dâhil edilmiş, birbirinden farklı eğitim ve donanıma sahip karar vericilerin düşünce ve yargılarının aynı anda değerlendirilmesiyle objektif bir sonuç ortaya konulabilmiştir. İleride yürütülecek çalışmalarda, kök neden olabilecek kriterlerin önem derecelerinin tespit edilmesi aşamasında bulanık ÇKKV metotlarından, kuruluşların endüstriyel kaza riski açısından karşılaştırılması aşamasında ise başka bir ÇKKV metodundan faydalanılarak analizler gerçekleştirilebilir ve elde edilecek sonuçlar bu çalışmanın sonuçları ile karşılaştırılabilir.

KAYNAKLAR

- Akman, A. ve Doğan B. (2020). *Proses Güvenliği: “Kazalardan Çıkarılan Dersler”*, Ankara, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi.
- Alekseeva, A., Volokhina, A. ve Glebova, E. (2020). *Identification of the root causes of accidents at hazardous production facilities of the fuel and energy complex*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2-5.
- Amin, S., Hadi, G. ve Fereidun, S. (2013). *Multiple Criteria Decision Making in Environmental Risks Assessment, A Case Study in Bastam Region*. 1st International Conference on Environmental Crisis and its Solutions.
- Andersan, B. ve Fagerhaug, T. (2006). *Root Cause Analysis, Simplified Tools and Techniques* (Second Edition). Milwaukee, Wisconsin: ASQ Quality Press.
- Arslan, R. (2018). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemlerinin Karşılaştırılması Ve Bütünleştirilmesi: OECD Verileri Üzerine Bir Uygulama*, Cumhuriyet Üniversitesi, Doktora Tezi, Sivas.
- Ayçin, E., 2019. *Çok Kriterli Karar Verme Bilgisayar Uygulamalı Çözümler*. Ankara: Nobel Yayınları, 333.
- Benayoun, R., Roy, B. ve Sussman, N. (1966). *Manual de reference du programme electre, Note de Synthese etFormation, Direction Scientifique SEMA*, 25.
- Bragatto, P., Vairo, T., Maria, F. M. ve Fabiano, B. (2021). The impact of the COVID-19 pandemic on the safety management in Italian Seveso industries, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 70.
- Brans, J. P. ve P. Vincke (1985). A Preference Ranking Organization Method (The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision Making). *Management Science*, 31(6), 647–656.
- Çiftci, S. E. ve Arıkan, F. (2020). A Multiple Criteria Risk Analysis Model and a Case Study in Metal Industry. *Open Journal of Business and Management*, 8, 2048-2070.
- ÇSGB, ÇSB, İÇİŞLERİ. (2019). *Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması Hakkında Yönetmelik*, 02.03.2019 tarihli ve 30702 sayılı Resmi Gazete.
- Dabous, S. A., Ibrahim, F., Feroz, S., ve Alsyounf, I. (2021). Integration of failure mode, effects, and criticality analysis with multi-criteria decision-making in engineering applications: Part I – Manufacturing industry, *Engineering Failure Analysis*, 122.
- Dinçer, H. ve Görener, A. (2011). “Analitik hiyerarşi süreci ve VIKOR tekniği ile dinamik performans analizi: Bankacılık sektöründe bir uygulama”, *İstanbul Ticaret Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi*, 19(10), 109-127.
- Doğan, B. (2015) *Büyük Endüstriyel Tesislerde Kaza Risklerinin ve Kök Nedenlerin Tespiti: Atmosferik Distilasyon Kolonu Örneği*, Uzmanlık Tezi, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi, Ankara.

- Duran, F. ve Zafeirakopoulos, İ. B. (2018). *Environmental Risk Assessment of E-waste in Reverse Logistics Systems Using MCDM Methods*. Proceedings of the International Symposium for Production Research, 590-603.
- Eleren, A. ve Karagül, M. (2008). 1986-2006 Türkiye Ekonomisi'nin Performans Değerlendirmesi, *Yönetim ve Ekonomi Dergisi*, 1-14.
- Fishburn, P. C. (1967). Additive Utilities with Incomplete Product Set: Applications to Priorities and Assignments. *Operations Research Society of America*. ORSA Publication, Baltimore. 3(15). 373-589.
- Girgin, S. ve Tetiş, U. (2007). *Seçilmiş Uluslararası Veri Tabanlarında Türkiye'de Yaşanmış Endüstriyel Kazalar*, Türkiye Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Ulusal Çalıştayı, Ankara.
- Gül, M. (2018). A review of occupational health and safety risk assessment approaches based on multi-criteria decision-making methods and their fuzzy versions. *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*. 24. 1-38.
- Gül, M. (2020). Application of Pythagorean fuzzy AHP and VIKOR methods in occupational health and safety risk assessment: the case of a gun and rifle barrel external surface oxidation and colouring unit, *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 26(4), 705-718.
- Gül, M. ve Ak, M.F. (2018). Assessment of occupational risks from human health and environmental perspectives: a new integrated approach and its application using fuzzy BWM and fuzzy MAIRCA, *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 34, 1231-1262.
- Gül, M. ve Guneri, A. F. (2016). A fuzzy multi criteria risk assessment based on decision matrix technique: A case study for aluminum industry, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 40, 89-100.
- Hamad, S. B. ve Turki, N. (2016). Default Risk Assessment of Tunisian SMEs: Multiple Criteria Decision Making Approaches, *Journal of Business*, 1(1), 29-40.
- Hoşcan, O. (2019). *Endüstriyel kazalar için acil durum toplanma noktasının çok kriterli karar verme yöntemi ile seçimi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi, Ankara.
- Hwang, C. L. ve K. Yoon. (1981). Multiple Attribute Decision Making. *Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems*. 186. Berlin: Springer.
- İlbahar, E., Karaşan, A., Cebi, S. ve Kahraman, C. (2018). A novel approach to risk assessment for occupational health and safety using Pythagorean fuzzy AHP & fuzzy inference system, *Safety Science*, 103, 124-136.
- İktisadi Kalkınma Vakfı (IKV). (2020). *Sanayi-Çevre İlişkisi: AB ve Türkiye'de Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi Yönergesi*. İstanbul: İktisadi Kalkınma Vakfı Yayınları, 30.
- İnternet: T.C. Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı. Büyük Endüstriyel Kaza Risklerinin Azaltılması (BEKRA) İşletmeciler İçin Rehber. Ankara. URL: <https://ced.csb.gov.tr/buyuk-endustriyel-kaza-risklerinin-azaltilmasi-bekra-isletmeciler-icin-rehber-i-82690>, Son Erişim Tarihi: 22.05.2023.

- Joaquim, C. (2007). *Evaluation of the Effects and Consequences of Major Accidents in Industrial Plants: 8* (Second Edition). Barcelona, Spain: Universitat Politècnica de Catalunya.
- Karaatlı, M., Ömürbek, N., Budak, İ. ve Dağ, O. (2020). Çok kriterli karar verme yöntemleri ile yaşanabilir illerin sıralanması. *Selçuk Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi*. 10(1). 223-227.
- Kashmir S.G., Rohit S. ve Gurraj S. (2020). Application of root cause analysis to increase material removal rate for productivity improvement: A case study of the press manufacturing industry, *Materials Today: Proceedings*, 26(2), 1780-1783.
- Koulinas, G.K., Marhavilas, P.K., Demesouka, O.E., Vavatsikos, A.P. ve Koulouriotis, D.E. (2019). Risk analysis and assessment in the worksites using the fuzzy-analytical hierarchy process and a quantitative technique – A case study for the Greek construction sector, *Safety Science*, 112, 96-104.
- Kritika, S. ve Maiti, J. (2020) A novel data mining approach for analysis of accident paths and performance assessment of risk control systems, *Reliability Engineering & System Safety*, 202.
- La Fata, C. M., Giallanza, A., Micale, R. ve La Scalia G. (2021). Ranking of occupational health and safety risks by a multi-criteria perspective: Inclusion of human factors and application of VIKOR, *Safety Science*, 138.
- Li, G., Joe Qin, S. ve Yuan, T. (2016). Data-driven root cause diagnosis of faults in process industries, *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 159, 1-11.
- Lucia, B., Riccardo, M., Simone, M. ve Maniva, O. (2020). A Detailed Investigation on Apparent and Root Causes of Accidents in Manufacturing. *Advances in Manufacturing, Production Management and Process Control*, 18-25.
- Miller, D. W. ve M. K. Starr. (1969). *Executive Decisions and Operations Research*. NJ: Prentice-Hall, Inc.
- Ouédraogo, A., Groso, A., ve Meyer, T. (2011). Risk analysis in research environment–part II: weighting lab criticality index using the analytic hierarchy process. *Safety science*, 49(6), 785-793.
- Oz, N. E., Mete, S., Serin, F. ve Gül, M. (2019) Risk assessment for clearing and grading process of a natural gas pipeline project: An extended TOPSIS model with Pythagorean fuzzy sets for prioritizing hazards, *Human and Ecological Risk Assessment: An International Journal*, 25(6), 1615-1632.
- Özcan, H. (2016). *Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılmasına Yönelik Ulusal Uygulamalar*, Ankara, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Teftiş Kurulu Başkanlığı.
- Özdemir U., Altınpınar İ. ve Demirel F.B. (2018). A MCDM Approach with Fuzzy AHP Method for Occupational Accidents on Board. *TransNav, the International Journal on Marine Navigation and Safety of Sea Transportation*, 12(1), 93-98.
- Özden, Ü. (2018). *Çok kriterli karar verme yöntemleri*. İstanbul: İstanbul Ticaret Üniversitesi.

- Özgüvenç, D. (2011). *Kalite problemlerinin sınıflandırılmasında çok kriterli Pareto Analizi*, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Pohekar, S. D. ve M. Ramachandran. (2004). Application of multi-criteria decision making to sustainable energy planning - A review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*, 8, 365–381.
- Reniers, G. ve Cozzani, V. (2013). *Domino Effects in the Process Industries Modelling, Prevention and Managing*, Oxford: Elsevier.
- Saaty, T.L. (1986). Axiomatic Foundations Of The Analytic Hierarchy Process, *Management Science*, 32(7), 841-855.
- Saaty, T.L. (1990). How to Make a Decision: The Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research*, 48(1), 9-26.
- Seker, S. ve Zavadskas, E. (2017). Application of Fuzzy DEMATEL Method for Analyzing Occupational Risks on Construction Sites. *Sustainability*, 9, 2083.
- Stephen H. (2006). Managing industrial risk - Having a tested and proven system to prevent and assess risk. *Journal of hazardous materials*, 130, 58-63.
- Tezcan, Ö., Aytekin, O., Kuşan, H. ve Özdemir, İ. (2012). İnşaat Proje Yatırımlarının Değerlendirilmesinde Analitik Hiyerarşi Yönteminin Kullanılması. *e-Journal of New World Sciences Academy*, 7 (1), 229-238.
- Tunca, M., Aksoy, E., Bülbül, H. ve Ömürbek, N. (2015). AHP temelli TOPSIS ve ELECTRE yöntemiyle muhasebe paket programı seçimi, *Niğde Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi*, 8, 53-71.
- Turan, G. (2015). *Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*, İstanbul, Dora Yayıncılık.
- Turskis, Z., Dzitac, S., Stankiuvienė, A. ve Šukys, R. (2019). A Fuzzy Group Decision-making Model for Determining the Most Influential Persons in the Sustainable Prevention of Accidents in the Construction SMEs. *International Journal of Computers Communications & Control*, 14, 90-106.
- Türker, A. (1988). Çok Ölçekli Karar Verme Tekniklerinden ELECTRE, *İstanbul Üniversitesi Orman Fakültesi Dergisi*, 38(3), 72–87.
- Varol N. (2007). *Doğal ve teknolojik afetler konusunda toplumun bilinçlendirilmesi ve "AFEM'in" rolü*, TMMOB Afet Sempozyumu Bildiri Kitabı. 127-131.
- Vesilind, P. A., Morgan, S. M. ve Heine, L. G. (2012). *Çevre Mühendisliğine Giriş*. (3. baskı), (Çev. P. D. Toröz), Ankara: Nobel Yayınevi. 17-34.
- Viegas, R. A., Mota, F. S., Costa, A. P. ve Santos, F. F. (2020). A multi-criteria-based hazard and operability analysis for process safety, *Process Safety and Environmental Protection*, 144, 310-321.
- Vince, I. (2011). *Major Accidents to the Environment: A Practical Guide to the Seveso II Directive and Comah Regulation*, Oxford: Elsevier.

- Wang, R., Gao, X., Gao, J., Gao, Z. ve Kang, J. (2018). An information transfer based novel framework for fault root cause tracing of complex electromechanical systems in the processing industry, *Mechanical Systems and Signal Processing*, 101, 121-139.
- Wang, Y. F., Xie, M., Chin, K. ve Fu, X. J. (2013). Accident analysis model based on Bayesian Network and Evidential Reasoning approach, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 26(1), 10-21.
- Yıldırım, B. F. ve Önder, E. (2014). *İşletmeciler, Mühendisler ve Yöneticiler için Operasyonel, Yönetimsel ve Stratejik Problemlerin Çözümünde Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri*. Bursa: Dora Yayınları.
- Yilmaz, F. ve Alp, S. (2016). Underlying Factors of Occupational Accidents: The Case of Turkey, *Open Journal of Safety Science and Technology*, 6(1), 4-8.
- Yoon, K.P. ve Hwang, C. (1995). Multiple Attribute Decision Making: An Introduction, *Sage University Paper Series on Quantitative Applications in the Social Science*, 07-104.
- Zhang, J., Fu, J., Hao, H., Fu, G., Nie, F. ve Zhang, W. (2020). Root causes of coal mine accidents: Characteristics of safety culture deficiencies based on accident statistics, *Process Safety and Environmental Protection*, 136, 78-91.

EKLER

EK-1. Kriter Karşılaştırma Matrisleri için Hazırlanan AHP Analizi Anketi

Çizelge 1.1. Ana kriterlerin karşılaştırma matrisi

	Proses Hataları	Ekipman Hataları	Domino etkisi	İnsan Hataları	Afetler	Sabotaj
Yönetim / Organizasyon Hataları						
	Yönetim / Organizasyon Hataları	Ekipman Hataları	Domino etkisi	İnsan Hataları	Afetler	Sabotaj
Proses Hataları						
	Yönetim / Organizasyon Hataları	Proses Hataları	Domino etkisi	İnsan Hataları	Afetler	Sabotaj
Ekipman Hataları						
	Yönetim / Organizasyon Hataları	Proses Hataları	Ekipman Hataları	İnsan Hataları	Afetler	Sabotaj
Domino etkisi						
	Yönetim / Organizasyon Hataları	Proses Hataları	Ekipman Hataları	Domino etkisi	Afetler	Sabotaj
İnsan Hataları						
	Yönetim / Organizasyon Hataları	Proses Hataları	Ekipman Hataları	Domino etkisi	İnsan Hataları	Sabotaj
Afetler						
	Yönetim / Organizasyon Hataları	Proses Hataları	Ekipman Hataları	Domino etkisi	İnsan Hataları	Afetler
Sabotaj						

EK-1. (devam) Kriter Karşılaştırma Matrisleri için Hazırlanan AHP Analizi Anketi

Çizelge 1.3. Proses hataları alt kriterlerinin karşılaştırma matrisi

[illegible]

EK-1. (devam) Kriter Karşılaştırma Matrisleri için Hazırlanan AHP Analizi Anketi

Çizelge 1.4. Ekipman hataları alt kriterlerinin karşılaştırma matrisi

	Sızıntı	Titreşim	Korozyon/ Elektro erozyon (EDM)	Mekanik gerilme/ Kırılma/ Kopma/ Yırtılma	Kimyasal hasar	Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj	Uygun olmayan ekipman yerleşimi/ güvenlik mesafeleri	Uygun olmayan/ elverişsiz bakım
Darbe								
	Darbe	Titreşim	Korozyon/ Elektro erozyon (EDM)	Mekanik gerilme/ Kırılma/ Kopma/ Yırtılma	Kimyasal hasar	Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj	Uygun olmayan ekipman yerleşimi/ güvenlik mesafeleri	Uygun olmayan/ elverişsiz bakım
Sızıntı								
	Darbe	Sızıntı	Korozyon/ Elektro erozyon (EDM)	Mekanik gerilme/ Kırılma/ Kopma/ Yırtılma	Kimyasal hasar	Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj	Uygun olmayan ekipman yerleşimi/ güvenlik mesafeleri	Uygun olmayan/ elverişsiz bakım
Titreşim								
	Darbe	Sızıntı	Titreşim	Mekanik gerilme/ Kırılma/ Kopma/ Yırtılma	Kimyasal hasar	Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj	Uygun olmayan ekipman yerleşimi/ güvenlik mesafeleri	Uygun olmayan/ elverişsiz bakım
Korozyon/ Elektro erozyon (EDM)								
	Darbe	Sızıntı	Titreşim	Korozyon/ Elektro erozyon (EDM)	Kimyasal hasar	Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj	Uygun olmayan ekipman yerleşimi/ güvenlik mesafeleri	Uygun olmayan/ elverişsiz bakım
Mekanik gerilme/ Kırılma/ Kopma/ Yırtılma								
	Darbe	Sızıntı	Titreşim	Korozyon/ Elektro erozyon (EDM)	Mekanik gerilme/ Kırılma/ Kopma/ Yırtılma	Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj	Uygun olmayan ekipman yerleşimi/ güvenlik mesafeleri	Uygun olmayan/ elverişsiz bakım
Kimyasal hasar								
	Darbe	Sızıntı	Titreşim	Korozyon/ Elektro erozyon (EDM)	Mekanik gerilme/ Kırılma/ Kopma/ Yırtılma	Kimyasal hasar	Uygun olmayan ekipman yerleşimi/ güvenlik mesafeleri	Uygun olmayan/ elverişsiz bakım
Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj								
	Darbe	Sızıntı	Titreşim	Korozyon/ Elektro erozyon (EDM)	Mekanik gerilme/ Kırılma/ Kopma/ Yırtılma	Kimyasal hasar	Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj	Uygun olmayan/ elverişsiz bakım
Uygun olmayan ekipman yerleşimi/ güvenlik mesafeleri								
	Darbe	Sızıntı	Titreşim	Korozyon/ Elektro erozyon (EDM)	Mekanik gerilme/ Kırılma/ Kopma/ Yırtılma	Kimyasal hasar	Hatalı tasarım/ kurulum/ montaj	Uygun olmayan ekipman yerleşimi/ güvenlik mesafeleri
Uygun olmayan/ elverişsiz bakım								

EK-1. (devam) Kriter Karşılaştırma Matrisleri için Hazırlanan AHP Analizi Anketi

Çizelge 1.6. İnsan hataları alt kriterlerinin karşılaştırma matrisi

[illegible]

EK-1. (devam) Kriter Karşılaştırma Matrisleri için Hazırlanan AHP Analizi Anketi

Çizelge 1.7. Afet alt kriterlerinin karşılaştırma matrisi

[illegible]

EK-1. (devam) Kriter Karşılaştırma Matrisleri için Hazırlanan AHP Analizi Anketi

Çizelge 1.8. Sabotaj alt kriterlerinin karşılaştırma matrisi

	Patlayıcı Maddelerle Sabotaj	Mekanik Sabotaj	Bakteriyolojik ve Kimyasal Sabotaj	Fikri Sabotaj	Psikolojik Sabotaj
Yangınla Sabotaj					
	Yangınla Sabotaj	Mekanik Sabotaj	Bakteriyolojik ve Kimyasal Sabotaj	Fikri Sabotaj	Psikolojik Sabotaj
Patlayıcı Maddelerle Sabotaj					
	Yangınla Sabotaj	Patlayıcı Maddelerle Sabotaj	Bakteriyolojik ve Kimyasal Sabotaj	Fikri Sabotaj	Psikolojik Sabotaj
Mekanik Sabotaj					
	Yangınla Sabotaj	Patlayıcı Maddelerle Sabotaj	Mekanik Sabotaj	Fikri Sabotaj	Psikolojik Sabotaj
Bakteriyolojik ve Kimyasal Sabotaj					
	Yangınla Sabotaj	Patlayıcı Maddelerle Sabotaj	Mekanik Sabotaj	Bakteriyolojik ve Kimyasal Sabotaj	Psikolojik Sabotaj
Fikri Sabotaj					
	Yangınla Sabotaj	Patlayıcı Maddelerle Sabotaj	Mekanik Sabotaj	Bakteriyolojik ve Kimyasal Sabotaj	Fikri Sabotaj
Psikolojik Sabotaj					

EK-2. AHP ile Elde Edilen Değerlendirme Puanlarının Ayrıntılı Hesaplaması

$$\begin{aligned}
S_1 = & (0,09*0,13*0,278) + (0,09*0,14*0,278) + (0,09*0,04*0,412) + (0,09*0,05*0,357) + \\
& (0,09*0,08*0,350) + (0,09*0,15*0,368) + (0,09*0,26*0,318) + (0,09*0,08*0,333) + \\
& (0,09*0,04*0,389) + (0,19*0,02*0,438) + (0,19*0,03*0,389) + (0,19*0,03*0,389) + \\
& (0,19*0,04*0,412) + (0,19*0,07*0,333) + (0,19*0,07*0,389) + (0,19*0,05*0,389) + \\
& (0,19*0,12*0,278) + (0,19*0,13*0,188) + (0,19*0,19*0,313) + (0,19*0,27*0,333) + \\
& (0,20*0,08*0,300) + (0,20*0,04*0,231) + (0,20*0,02*0,273) + (0,20*0,07*0,200) + \\
& (0,20*0,11*0,313) + (0,20*0,10*0,313) + (0,20*0,29*0,350) + (0,20*0,18*0,350) + \\
& (0,20*0,12*0,333) + (0,08*0,12*0,350) + (0,08*0,07*0,350) + (0,08*0,03*0,286) + \\
& (0,08*0,03*0,333) + (0,08*0,05*0,333) + (0,08*0,22*0,333) + (0,08*0,16*0,333) + \\
& (0,08*0,14*0,263) + (0,08*0,16*0,313) + (0,08*0,01*0,333) + (0,35*0,06*0,450) + \\
& (0,35*0,05*0,474) + (0,35*0,03*0,450) + (0,35*0,14*0,474) + (0,35*0,04*0,438) + \\
& (0,35*0,10*0,500) + (0,35*0,07*0,389) + (0,35*0,04*0,450) + (0,35*0,12*0,350) + \\
& (0,35*0,14*0,429) + (0,35*0,17*0,368) + (0,35*0,04*0,409) + (0,05*0,33*0,100) + \\
& (0,05*0,11*0,111) + (0,05*0,18*0,412) + (0,05*0,10*0,125) + (0,05*0,12*0,125) + \\
& (0,05*0,03*0,167) + (0,05*0,03*0,167) + (0,05*0,03*0,167) + (0,05*0,02*0,385) + \\
& (0,05*0,03*0,385) + (0,05*0,03*0,111) + (0,04*0,31*0,429) + (0,04*0,44*0,409) + \\
& (0,04*0,12*0,400) + (0,04*0,07*0,273) + (0,04*0,03*0,538) + (0,04*0,03*0,500) = \mathbf{0,354}
\end{aligned}$$

EK-2. (devam) AHP ile Elde Edilen Değerlendirme Puanlarının Ayrıntılı Hesaplaması

$$\begin{aligned}
S_2 = & (0,09*0,13*0,500) + (0,09*0,14*0,389) + (0,09*0,04*0,353) + (0,09*0,05*0,357) + \\
& (0,09*0,08*0,400) + (0,09*0,15*0,368) + (0,09*0,26*0,409) + (0,09*0,08*0,467) + \\
& (0,09*0,04*0,444) + (0,19*0,02*0,375) + (0,19*0,03*0,333) + (0,19*0,03*0,389) + \\
& (0,19*0,04*0,412) + (0,19*0,07*0,429) + (0,19*0,07*0,444) + (0,19*0,05*0,444) + \\
& (0,19*0,12*0,500) + (0,19*0,13*0,438) + (0,19*0,19*0,375) + (0,19*0,27*0,400) + \\
& (0,20*0,08*0,600) + (0,20*0,04*0,615) + (0,20*0,02*0,545) + (0,20*0,07*0,600) + \\
& (0,20*0,11*0,500) + (0,20*0,10*0,438) + (0,20*0,29*0,400) + (0,20*0,18*0,400) + \\
& (0,20*0,12*0,429) + (0,08*0,12*0,400) + (0,08*0,07*0,400) + (0,08*0,03*0,500) + \\
& (0,08*0,03*0,500) + (0,08*0,05*0,467) + (0,08*0,22*0,467) + (0,08*0,16*0,400) + \\
& (0,08*0,14*0,421) + (0,08*0,16*0,500) + (0,08*0,01*0,500) + (0,35*0,06*0,400) + \\
& (0,35*0,05*0,368) + (0,35*0,03*0,350) + (0,35*0,14*0,263) + (0,35*0,04*0,375) + \\
& (0,35*0,10*0,333) + (0,35*0,07*0,444) + (0,35*0,04*0,350) + (0,35*0,12*0,400) + \\
& (0,35*0,14*0,333) + (0,35*0,17*0,474) + (0,35*0,04*0,409) + (0,05*0,33*0,700) + \\
& (0,05*0,11*0,556) + (0,05*0,18*0,353) + (0,05*0,10*0,625) + (0,05*0,12*0,625) + \\
& (0,05*0,03*0,667) + (0,05*0,03*0,667) + (0,05*0,03*0,667) + (0,05*0,02*0,462) + \\
& (0,05*0,03*0,385) + (0,05*0,03*0,667) + (0,04*0,31*0,381) + (0,04*0,44*0,364) + \\
& (0,04*0,12*0,400) + (0,04*0,07*0,545) + (0,04*0,03*0,308) + (0,04*0,03*0,357) = \mathbf{0,420}
\end{aligned}$$

EK-2. (devam) AHP ile Elde Edilen Değerlendirme Puanlarının Ayrıntılı Hesaplaması

$$\begin{aligned}
S_3 = & (0,09*0,13*0,222) + (0,09*0,14*0,333) + (0,09*0,04*0,235) + (0,09*0,05*0,286) + \\
& (0,09*0,08*0,250) + (0,09*0,15*0,263) + (0,09*0,26*0,273) + (0,09*0,08*0,200) + \\
& (0,09*0,04*0,167) + (0,19*0,02*0,188) + (0,19*0,03*0,278) + (0,19*0,03*0,222) + \\
& (0,19*0,04*0,176) + (0,19*0,07*0,238) + (0,19*0,07*0,167) + (0,19*0,05*0,167) + \\
& (0,19*0,12*0,222) + (0,19*0,13*0,375) + (0,19*0,19*0,313) + (0,19*0,27*0,267) + \\
& (0,20*0,08*0,100) + (0,20*0,04*0,154) + (0,20*0,02*0,182) + (0,20*0,07*0,200) + \\
& (0,20*0,11*0,188) + (0,20*0,10*0,250) + (0,20*0,29*0,250) + (0,20*0,18*0,250) + \\
& (0,20*0,12*0,238) + (0,08*0,12*0,250) + (0,08*0,07*0,250) + (0,08*0,03*0,214) + \\
& (0,08*0,03*0,167) + (0,08*0,05*0,200) + (0,08*0,22*0,200) + (0,08*0,16*0,267) + \\
& (0,08*0,14*0,316) + (0,08*0,16*0,188) + (0,08*0,01*0,167) + (0,35*0,06*0,150) + \\
& (0,35*0,05*0,158) + (0,35*0,03*0,200) + (0,35*0,14*0,263) + (0,35*0,04*0,188) + \\
& (0,35*0,10*0,167) + (0,35*0,07*0,167) + (0,35*0,04*0,200) + (0,35*0,12*0,250) + \\
& (0,35*0,14*0,238) + (0,35*0,17*0,158) + (0,35*0,04*0,182) + (0,05*0,33*0,200) + \\
& (0,05*0,11*0,333) + (0,05*0,18*0,235) + (0,05*0,10*0,250) + (0,05*0,12*0,250) + \\
& (0,05*0,03*0,167) + (0,05*0,03*0,167) + (0,05*0,03*0,167) + (0,05*0,02*0,154) + \\
& (0,05*0,03*0,231) + (0,05*0,03*0,222) + (0,04*0,31*0,190) + (0,04*0,44*0,227) + \\
& (0,04*0,12*0,200) + (0,04*0,07*0,182) + (0,04*0,03*0,154) + (0,04*0,03*0,143) = \mathbf{0,226}
\end{aligned}$$

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : ÜNVERDİ, Şehmus
 Uyuğu : T.C.
 Doğum tarihi ve yeri : 25.03.1987, Adana
 Medeni hali : Evli
 Telefon : 0 (312) 257 16 90
 E-mail : sehmunverdi06@gmail.com



Eğitim

Derece	Eğitim Birimi	Mezuniyet Tarihi
Yüksek Lisans	Gazi Üniversitesi / Kazaların Çevresel ve Teknik Araştırması Ana Bilim Dalı	Devam ediyor
Lisans	Çukurova Üniversitesi / Fen-Edebiyat Fakültesi – Fizik Bölümü	2010

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012-Halen	Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü	Çalışma Uzmanı

Yabancı Dil

İngilizce

Yayınlar

- Ünverdi, Ş. (2017). *Mobilya Üretiminde Ağaç Tozuna Maruziyetin Değerlendirilmesi*, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. Ankara
- Ünverdi, Ş. ve Çetinyokuş, S. (2021). Bir Kamu Kurumunda Bulunan Asbest Uygulama Merkezi ve SEM Laboratuvarında L Tipi Matris Yöntemi ile Risk Değerlendirmesi, *Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety*, 5(2), 99-107.
- Ünverdi, Ş. ve Çetinyokuş, S. (2021). *Endüstriyel Kazaların Kök Nedenlerinin Çok Kriterli Karar Verme Yöntemi ile Değerlendirilmesi*, V. Ulusal Tehlikeli Kimyasalların Yönetimi ve Proses Güvenliği Sempozyumu, Ankara.

Hobiler

Koşu, web tasarımı, grafik tasarımı.



Gazili olmak ayrıcalıktır