



Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

# MİSGEP

MADENCİLİKTE  
İŞ SAĞLIğI ve  
GÜVENLİĞİNİN  
GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ

## İSG ALANINDA TEKNİK REHBERLER

## KAZA/OLAY İNCELEME VE KÖK NEDEN ANALİZİ

2023





**MİSGEP**

MADENCİLİKTE  
İŞ SAĞLIĞI ve  
GÜVENLİĞİNİN  
GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ

İSG ALANINDA  
TEKNİK REHBERLER DİZİSİ

CİLT 4:  
KAZA/OLAY  
İNCELEME VE  
KÖK NEDEN  
ANALİZİ

Türkiye Cumhuriyeti Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı  
İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü

Emek Mahallesi 17. Cadde No: 13 Pk: 06520 Emek / ANKARA  
0 312 296 60 00  
isggm@csgb.gov.tr  
www.csgb.gov.tr/isggm  
www.isginfo.org





# MiSGEP

MADENCİLİKTE  
İŞ SAĞLIĞI ve  
GÜVENLİĞİNİN  
GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ

## ÖNSÖZ

Bu teknik rehber, Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü tarafından yürütülen, Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilen “**Madencilikte İş Sağlığı ve Güvenliğinin Geliştirilmesi Projesi**” (MiSGEP) kapsamında maden işyerlerindeki İSG koşullarının iyileştirilmesi kapsamında kök neden analizi yapılabilmesi için hazırlanmıştır. Rehber, aşağıda listelendiği gibi MiSGEP Teknik Yardım Bileşeni, Aktivite 3.8 kapsamında hazırlanan beş ciltlik teknik rehber serisinden dördüncüsüdür.

- Cilt 1. Yeraltı kömür ocaklarında kendiliğinden yanma ve yangın yönetimi
- Cilt 2. Yeraltı madenciliğinde havalandırma tasarımı ve uygulama yöntemleri
- Cilt 3. Yeraltı kömür madenciliğinde metan drenajı
- Cilt 4. Kaza/olay inceleme ve kök neden analizi
- Cilt 5. Davranış odaklı güvenlik yönetimi

MiSGEP Projesinin genel hedefi sağlık, güvenlik ve iş barışının geliştirilmesiyle Türkiye iş gücü için insana yakışır işlerin yaratılması, amacı ise özellikle madencilik sektöründe proaktif yaklaşıma dayalı iyileştirilmiş çalışma koşullarının desteklenmesi, toplumsal farkındalığın artırılması ve tüm paydaşların konuyla ilgili bilgi seviyesinin artırılması yoluyla daha iyi çalışma koşulları oluşturulmasının sağlanmasıdır.

Bu amaç ve hedef çerçevesinde hazırlanan bu rehber, madencilik sektöründe meydana gelen ramak kala olayları ile iş kazaları ve meslek hastalıklarının araştırılması amacıyla kök neden analizlerinin uygulama aşamaları irdelemekte, ilgili teknikleri aktarmakta ve sunulan kaza örnekleri üzerinden kök neden analizleri vermektedir. Kök neden analizi, bilim ve mühendislikte, yanlışların veya darboğazların başlıca sebeplerini belirlemek için kullanılan bir çözümlene yaklaşımdır. Ayrıca endüstriyel süreçlerin ve kazaların analizinde de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Büyük riskler barındıran maden işyerlerinde bu risklere karşı önlemler alınması gerekmektedir. Ancak belirlenen çerçevedeki tüm önlemlerin alınmasına rağmen yine de istenmeyen olaylar ve kazalar meydana gelebilmektedir. Bu türden olaylar, kazalar ve yol açtığı istenmeyen sonuçların yaşanmaması için olaya neden olan kök sebeplerin tespit edilerek mevcut şartlar üzerinde iyileştirmeler yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde ciddi yaralanma veya ölümlerle sonuçlanan olaylar meydana gelebilecektir.

Bu rehber; iş kazalarıyla ilgili inceleme ve detaylı araştırma yapılmasını sağlamak, kök sebeplerin analiz edilmesiyle düzeltici önleyici faaliyet planları oluşturmak, araştırma tekniklerinin kullanılmasını sağlamak gibi konularda yetkinlik kazandırmak amacıyla hazırlanmıştır.

# İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ

TABLolar DİZİNİ

ŞEKİLLER DİZİNİ

SİMGELER

KISALTMALAR

1. GİRİŞ	13
2. İŞ MEVZUATI	15
3. İŞ KAZASI TANIMI ve SORUMLULUKLAR	17
3.1. İş Kazası Tanımı	17
3.2. İş Kazalarına Yönelik Yargıtay Kararlarından Örnekler	18
4. İŞ KAZALARININ NEDENLERİ VE MALİYETİ	21
4.1. İş Kazalarının Nedenleri	21
4.2. İş Kazalarının Maliyeti	24
4.3. İş Kazası ve Meslek Hastalığı İstatistiklerinin Oluşturulması	25
5. RİSK YÖNETİM KÜLTÜRÜ	29
5.1. Risk Yönetim Kültürü ve Kök Neden Analizleri İlişkisi	29
5.2. Tehlike, Risk Kavramı ve Risk Değerlendirme Yöntemleri	31
5.3. Risk Değerlendirme Metodolojileri	32
6. KÖK NEDEN ANALİZİ NEDİR ve NASIL YAPILMALIDIR	35
6.1. Kaza Oluşum Teorileri	35
6.2. Problem Çözme Teknikleri ve Kök Neden Analiz Yöntemleri	36
6.3. Kök Neden Analizinin Yapılması	38
6.4. Önleyici Faaliyet, Telafi Edici Faaliyet ve Kök Neden Analizini Anlamak	43
6.5. Örnek Kaza İncelemesi (Domino Etkisi Kuramı)	43
7. KÖK NEDEN ANALİZİ YÖNTEMLERİ	57
7.1. 5N ve 1K Yöntemi	57
7.2. Balık Kılıçığı (Pareto) Analizi	58
7.3. Güvenlik Bariyer Analizi	61
7.4. Papyon Analizi	65
7.5. Hata Ağacı Analizi	70
7.6. Olay Ağacı Analizi	78
8. KÖK NEDEN ANALİZLERİ ÖRNEKLERİ	81
8.1. 5N ve 1K Yöntemi Örneği	81
8.2. Balık Kılıçığı Analizi Örneği	83
8.3. Güvenlik Bariyer Analizi Örneği	85
8.4. Papyon Analizi Örneği	86
8.5. Hata Ağacı Analizi Örneği	89
8.6. Olay Ağacı Analizi Örneği	119
9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER	127
KAYNAKLAR	129
FAYDALANILAN REFERANSLAR	130

# TABLolar DİZİNİ

Tablo 7.1	Güvenlik Bariyer Analizi Frekans Dağılımı	64
Tablo 7.2	Güvenlik Bariyer Analizi Şiddet Dağılımı	64
Tablo 7.3	Güvenlik Bariyer Analizi Örnek Bariyer Puanlaması Tablosu	64
Tablo 7.4	Bariyer Diyagramı Risk Matrisi	65
Tablo 7.5	Papyon Yöntemine Göre Uygulanması Gereken Asgari Bariyer Adedi	69
Tablo 7.6	Hata Ağacı Kapı Türleri	72
Tablo 7.7	Hata Ağacı Sembol Türleri	72
Tablo 7.8	Temel Olasılık Kapı Bağlılıkları	73
Tablo 7.9	Olasılık (P)/Frekans (F) Kapı Hesaplama Bağlılıkları	73
Tablo 8.1	Fragola ve IChemE Kaza Verilerine Dayalı HEP (İnsan Hatası Olasılığı) Örnekleri	90
Tablo 8.2	Milyon Saat Başına Hata Hızları	91
Tablo 8.3	Hata Ağacı Analizi Örneği Kapı Sonuçları	94
Tablo 8.4	Örnek Hata Ağacı Analizi Sonuçları	114
Tablo 8.5	Örnek Hata Ağacı Analizi Sonuçları Devamı	115
Tablo 8.6	Örnek Hata Ağacı Analizi Sonuçları Devamı	118
Tablo 8.7	Kazaya Ait Olay Ağacı Analizi Sonuçları	125
Tablo 8.8	Önlem Eklenen Olay Ağacı Analizi Sonuçları	125

# ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 4.1	İş kazası maliyetleri buzdağı örneği	24
Şekil 4.2	Risk Yönetim Kültürü	30
Şekil 6.1	Domino etkisi	36
Şekil 6.2	Domino etkisinde takip eden hata kuramı	36
Şekil 6.3	Sapma analizi süreci	38
Şekil 6.4	Kök neden analizi için metot seçimi akım şeması	40
Şekil 6.5	Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde fan bölümünde meydana gelen patlama	43
Şekil 6.6	7 Kasım 2010 itibarıyla Pike River maden planı	45
Şekil 6.7	Maden fanı patlama temsili resim	47
Şekil 6.8	Yeraltı Kömür Madeninde kısıtlı ve kısıtlı olmayan alanlar	49
Şekil 6.9	Yeraltı Kömür Madeni hidro panel giriş ve çıkış yolları	50
Şekil 7.1	Güvenlik bariyeri konsepti	61
Şekil 7.2	Güvenlik bariyeri kaza önleme yaklaşımı	62
Şekil 7.3	Güvenlik bariyer diyagramı gösterimi	63
Şekil 7.4	Bariyer tipleri	63
Şekil 7.5	Papyon (Bow Tie) proses analiz diyagramı yapısı	66
Şekil 7.6	Papyon analizi uygulama şablonu	67
Şekil 7.7	Papyon Diyagramının oluşturulması	68
Şekil 7.8	Papyon analizi diyagramının uygulanması	69
Şekil 7.9	Hataları belirlerken izlenecek yol şeması	71
Şekil 7.10	Hata Ağacı Analizi aşamaları	71
Şekil 7.11	Olay Ağacı Analizi diyagramının şematik yapısı	79
Şekil 8.1	Kazııcı yükleyici kombine iş makinesi	81
Şekil 8.2	Balık Kılıçığı kök neden analizi örneği	84
Şekil 8.3	Güvenlik bariyeri kök neden analizi örneği	85
Şekil 8.4	Papyon Analizi uygulama örneği	88
Şekil 8.5	Papyon analizi sembolleri ve anlamları	89
Şekil 8.6	Hata Ağacı Analizi örneği	92
Şekil 8.7	Örnek Hata Ağacı kapı numaraları	93
Şekil 8.8	Örnek Hata Ağacı Analizi Zirve Olay	96
Şekil 8.9	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Yönetim ve Organizasyonel Hataları Kapısı)	97
Şekil 8.10	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Dolaylı Sebepler Kapısı)	98
Şekil 8.11	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Acil Müdahale Eksikliği Kapısı)	99
Şekil 8.12	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Teknik Hatalar Kapısı)	100
Şekil 8.13	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Güvenlik Kültürü Eksikliği Kapısı)	101
Şekil 8.14	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Sığınak Eksikliği Kapısı)	102

Şekil 8.15	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Havalandırma Otomasyon Hatası Kapısı)	103
Şekil 8.16	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Havalandırma Fan Hatası Kapısı)	104
Şekil 8.17	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Havalandırma Boru Hattı Dizayn Hatası Kapısı)	105
Şekil 8.18	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Hidro madencilik çalışması Hatası Kapısı)	106
Şekil 8.19	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Metan İzleme Hatası Kapısı)	107
Şekil 8.20	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Ateşleme Kaynakları Hatası Kapısı)	108
Şekil 8.21	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Temizlik ve Nötrleştirme Yapılmaması Hatası Kapısı)	109
Şekil 8.22	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Elektrik Tesisatı Hatası Kapısı)	110
Şekil 8.23	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Nötrleştirme [inertization] Hatası Kapısı)	111
Şekil 8.24	Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Dikey Havalandırma Bacası Dizayn Hatası Kapısı)	112
Şekil 8.25	Olay Ağacı Analizi örneği	120
Şekil 8.26	Olay Ağacı Analizi örneği kapı hesabı	121
Şekil 8.27	Olay Ağacı Analizi örneği sonuçları	122
Şekil 8.28	Olay Ağacı Analizi örneği, kabul edilemeyen kapı sonucu	123
Şekil 8.29	Olay Ağacı Analizi örneği, olması gereken sistemin olay ağacı	124

# SİMGELER

- w: Arıza frekansı  
Q: Emre hazır olmama  
μ: Arıza onarım oranı  
F: Güvenilirlik  
Θ: Ağır bakım aralığı  
T: Test aralığı  
n: Minimum kesim kümesi  
λ(t): Hata oranı  
kV: Kilovat



# MİSGEP

## MADENCİLİKTE İŞ SAĞLIĞI ve GÜVENLİĞİNİN GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ

### KISALTMALAR

AB:	Avrupa Birliği (European Union)
CFD:	Hesapsal Akışkanlar Dinamiği (Computational Fluid Dynamics)
DC:	Arıza Tespit Oranı (Diagnostic Coverage)
CREAM:	Kavramsal Güvenilirlik ve Hata Analiz Yöntemi (Cognitive Reliability and Error Analysis Method)
DD:	Tespit Edilmiş Tehlikeli (Dangerous Detected)
DF:	Tehlikeli Arıza Oranı (Dangerous Failure Rate)
DU:	Tespit Edilmemiş Tehlikeli (Dangerous Undetected)
EN:	Avrupa Standardı (European Norm)
EIREDA:	Avrupa Endüstri Güvenilirliği Veri Bankası (European Industry Reliability Data Bank)
ETA:	Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis)
FAB:	Temiz Hava Üsleri (Fresh Air Base)
FMEA:	Hata Türü ve Etkileri Analizi (Failure Mode and Effects Analysis)
FTA:	Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis)
HAZOP:	Tehlike ve İşletilebilme Çalışması (Hazard and Operability Studies)
HE:	İnsan Hatası (Human Error)
HEI:	İnsan Hata Tanımlaması (Human Error Identification)
HEP:	İnsan Hatası Olasılığı (Human Error Probability)
HRA:	İnsan Güvenirlik Değerlendirmesi (Human Reliability Analysis)
IAEA:	Uluslararası Atom Enerjisi Kurumu (International Atomic Energy Agency)
IEEE:	Elektrik ve Elektronik Mühendisleri Enstitüsü (Institute of Electrical and Electronics Engineers)
ICLS:	Uluslararası Çalışma İstatistikçileri Konferansı (International Conference of Labor Statisticians)
ILO:	Uluslararası Çalışma Örgütü (International Labor Organization)
IEC:	Uluslararası Elektroteknik Komisyonu (International Electrotechnical Commission)
İSG:	İş Sağlığı ve Güvenliği
JSA:	İş Güvenlik Analizi (Job Safety Analysis)
KKD:	Kişisel Koruyucu Donanım
KSO:	Kaza Sıklık Oranı
KVKK:	Kişisel Verilerin Korunması Kanunu
MESS:	Maden İşverenleri Sendikası
MİSGEP:	Madencilik Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliğinin Geliştirilmesi Projesi
MORT:	Yönetim Bakışı ve Risk Ağacı (Management Oversight and Risk Tree)
MRS:	Maden Kurtarma Servisi (Mine Rescue Service)
MTTF:	Arızaya Kadar Ortalama Süre (Mean Time To Failure)
MTTR:	Tamir İçin Geçen Ortalama Süre (Mean Time To Repair)
MSDS:	Güvenlik Bilgi Formu (Material Safety Data Sheet)
NASA:	Ulusal Havacılık ve Uzay Dairesi (National Aeronautics and Space Administration)
OG:	Orta Gerilim
OREDA:	Deniz ve Kara Operasyonları Güvenilirlik Verileri (Offshore and Onshore Reliability Data)
PHA:	Birincil Tehlike Analizi (Preliminary Hazard Analysis)
PRA:	Birincil Risk Analizi (Preliminary Risk Analysis)
PTC:	Dayanım Testi Kapsamı (Proof Test Coverage)
RBD:	Güvenirlik Blok Diyagramı (Reliability Block Diagram)
SGK:	Sosyal Güvenlik Kurumu
TCK:	Türk Ceza Kanunu
THERP:	İnsan Hata Oranı Tahmini Tekniği (Technique For Human Reliability Analysis)
VSD:	Değişken Hızlı Sürücü (Variable Speed Driver)



# 1. GİRİŞ

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun “İş kazası ve meslek hastalıklarının kayıt ve bildirim” başlıklı 14. maddesinin “a” ve “b” bentlerinde “İşveren; bütün iş kazalarının ve meslek hastalıklarının kaydını tutar, gerekli incelemeleri yaparak bunlar ile ilgili raporları düzenler. İşyerinde meydana gelen ancak yaralanma veya ölüme neden olmadığı halde işyeri ya da iş ekipmanının zarara uğramasına yol açan veya çalışan, işyeri ya da iş ekipmanını zarara uğratma potansiyeli olan olayları inceleyerek bunlar ile ilgili raporları düzenler.” hükümleri yer almaktadır.

Kök neden, bir sorunu ortaya çıkaran esas sebepler veya hatalar bütünüdür. Sorun ve problemlerin altında yatan kök nedenleri belirlemek maksadı ile gerçekleştirilen eylem ise “Kök Neden Analizi” olarak tanımlanmaktadır.

Kök neden analizi gerçekleştirildiğinde, sorunların neler olduğu ve nasıl meydana geldiğinin yanı sıra hangi adımlardan oluştuğu sorusunun da cevabı verilebilmektedir. Problemin nasıl ve neden meydana geldiğinin anlaşılması, problemin tekrar oluşmasını önlemek ve daha iyiye ulaştırmak için önem arz etmektedir. Kök neden analizi, en yalın şekliyle, “meydana gelmiş bir kazanın nedenlerini ve buna neden olan temel sorunları belirleme sürecidir” denilebilir.

Maden işyerlerinde oluşabilecek kazalar; her şeyden önce can kaybı ile yaralanmalara sebebiyet vermekte, ayrıca işin durmasına, malzeme kaybına, para cezalarına ve maddi/manevi tazminat ödenmesine neden olmaktadır. İş kazalarını analiz etmek ve kazaların gerçek sebeplerini doğru saptamak, kazaların tekrar etmesinin önüne geçebilecektir. Ayrıca alınacak tedbirlerin belirlenmesi de işletmedeki kurumsal İSG kültürüne olumlu katkı sağlaması açısından büyük önem taşımaktadır.

İş kazalarının önüne geçilmesinde temel nokta önlem almaktır. Kazaların önlenmesi için öncelikle işyerlerinde proaktif olarak risk değerlendirme çalışmaları yapılmalıdır. Alınan tüm önlemlere rağmen işyerinde kaza oluşması durumunda ise söz konusu kazanın analiz edilmesi, kök sebeplerin belirlenmesi, risk değerlendirmesinin yapılması ve düzeltici/önleyici faaliyetleri belirleme ortam değerlendirmesinin yapılabilmesi, raporlama ile mümkün olabilmektedir.

Kök neden analizlerinin amacı; kazaların altında yatan görünen veya gizli kalmış görünmeyen kök nedenlerin belirlenmesi ve söz konusu kök nedenlerin tekrar ortaya çıkmaması için ne türde tedbirler alınabileceğinin tespit edilmesi, düzeltici ve önleyici faaliyetlerin nasıl uygulanması gerektiğine, izleme, değerlendirme ve önlem alma süreçlerinin nasıl gerçekleştirileceğine karar verilmesidir.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Madencilik Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliğinin Geliştirilmesi Projesi (MİSGEP) kapsamında hazırlanmış olan bu rehberde öncelikle iş kazası ve meslek hastalığı sonucu ortaya çıkabilecek istenmeyen sonuçları azaltmak üzere aşağıdaki konular aktarılmıştır:

- İş kazası ve meslek hastalıkları tanımları ve kaza sıklık oranları,
- Madenlerle ilgili Yargıtay kararları,
- Kök neden analizi için kaza araştırmasının nasıl yapıldığı, ve
- Teori olarak kök neden analizleri ve örnekler.



Bu rehber iş kazası ve meslek hastalıklarının esas nedenlerinin çözümlenebilmesi maksadı ile Kök Neden Analizlerinin nasıl yapılması gerektiğinin anlaşılmasını hedeflemektedir.



## 2. İŞ MEVZUATI

İşyerlerinde meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesinde devletin ve çalışanların rolü büyük önem taşımakla birlikte, en önemli sorumluluk şüphesiz işverenlere aittir.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununun 4. madde hükmüne göre işveren; çalışanların işle ilgili sağlık ve güvenliğini sağlamakla yükümlü olup bu çerçevede;

- Mesleki risklerin önlenmesi, eğitim ve bilgi verilmesi dâhil her türlü tedbirin alınması, organizasyonun yapılması, gerekli araç ve gereçlerin sağlanması, sağlık ve güvenlik tedbirlerinin değişen şartlara uygun hale getirilmesi ve mevcut durumun iyileştirilmesi için çalışmalar yapmak,
- İşyerinde alınan iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerine uyulup uyulmadığını izlemek, denetlemek ve uygunsuzlukların giderilmesini sağlamak,
- Risk değerlendirmesi yapmak veya yaptırmak,
- Çalışana görev verirken, çalışanın sağlık ve güvenlik yönünden işe uygunluğunu göz önüne almak, ve
- Yeterli bilgi ve talimat verilenler dışındaki çalışanların hayati ve özel tehlike bulunan yerlere girilmemesi için gerekli tedbirleri almakla yükümlüdür.

İşveren bu yükümlülüğüyle ilgili çalışmalarını ise 5. madde hükmünde belirtilen “risklerden korunma ilkeleri” çerçevesinde aşağıdaki sıra ile yerine getirmek durumundadır:

- Risklerden kaçınmak,
- Kaçınılması mümkün olmayan riskleri analiz etmek,
- Risklerle kaynağında mücadele etmek,
- İşin kişilere uygun hale getirilmesi için işyerlerinin tasarımı ile iş ekipmanı, çalışma şekli ve üretim metotlarının seçiminde özen göstermek, özellikle tekdüze çalışma ve üretim temposunun sağlık ve güvenliğe olumsuz etkilerini önlemek, önlenemiyor ise en aza indirmek,
- Teknik gelişmelere uyum sağlamak,
- Tehlikeli olanı, tehlikesiz veya daha az tehlikeli olanla değiştirmek,
- Teknoloji, iş organizasyonu, çalışma şartları, sosyal ilişkiler ve çalışma ortamı ile ilgili faktörlerin etkilerini kapsayan tutarlı ve genel bir önleme politikası geliştirmek,
- Toplu korunma tedbirlerine, kişisel korunma tedbirlerine göre öncelik vermek; ve
- Çalışanlara uygun talimatlar vermek.



İş kazalarının incelenmesi ve kazaların nedenlerinin doğru saptanabilmesi, benzer kazaların önlenmesinde alınacak tedbirlerin belirlenmesi için mevzuatımız gereğince risk değerlendirmesi ve kök neden analizi yapılmalıdır.

6331 sayılı Kanunun “Risklerin Değerlendirilmesi, Kontrol, Ölçüm ve Araştırma” başlıklı 10. maddesinde; *işverenin, iş sağlığı ve güvenliği yönünden risk değerlendirmesi yapmak veya yaptırmakla yükümlü olduğu düzenlenmiştir.*

Aynı Kanunun, yukarıda incelenen 4. 5. ve 6. maddelerinde sırasıyla, *işverenin çalışana karşı tedbir alma yükümlülüğü, bu tedbirleri alırken uyması gereken ilkeler ve bu tedbirlerin uygulaması sırasında vermesi gereken hizmetlerden bahsedilmiştir. Bu madde de işverenin tedbirleri alırken, uyması gereken “risk değerlendirmesi yapma” ilkesi kapsamında üstlendiği yükümlülüğü ne şekilde yerine getireceği düzenlenmiştir.*

Yine 6331 sayılı Kanunda; *“İşveren işyerinde uygulanacak iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerini, çalışma şekillerini ve üretim yöntemlerini; çalışanların sağlık ve güvenlik yönünden korunma düzeyini yükseltecek ve işyerinin idari yapılanmasının her kademesinde uygulanabilecek şekilde belirlemeli ve almalıdır.”* hükmü yer almaktadır. Bu bağlamda işverenler tarafından işyerinde alınması gerekli önlemlere karar verme aşamasında ramak kala olaylar da dahil olmak üzere tüm iş kazası ve meslek hastalıklarının kök neden analizleri de kullanılarak analiz edilmesi büyük önem arz etmektedir.



*İşverenler tarafından işyerinde alınması gerekli önlemlere karar verme aşamasında ramak kala olaylar da dahil olmak üzere tüm iş kazası ve meslek hastalıklarının kök neden analizleri de kullanılarak analiz edilmesi büyük önem arz etmektedir.*

*Buna göre işveren; işyerinde risk değerlendirmesi yaparken, çalışanların durumunu, işyerinin tertip ve düzenini, kullanılacak ekipmanın, kimyasal maddenin niteliğini dikkate almak ve işyerinde kullanılacak ekipman ve malzemeleri seçerken bu niteliklere göre hareket etmek zorundadır. Ayrıca çalışanların maruz kalabileceği ya da kaldığı risklerin, kontrol, ölçüm, inceleme ve araştırma sureti ile tespitini yapmak ve buna göre tedbirler almakla da yükümlüdür. Ayrıca işveren tarafından işyerinde kaza olması durumunda, meydana gelen kazanın tekrarlanmaması amacı ile kök neden analizleri vasıtasıyla kök nedenlere inilerek analiz yapılması ve gerekli tedbirlerin belirlenmesi gereklidir.*

## 3. İŞ KAZASI TANIMI ve SORUMLULUKLAR

### 3.1. İş Kazası Tanımı

Kaza tanımı çeşitli şekillerde verilebilir. Kaza kavramı Uluslararası Çalışma Örgütü (International Labor Organization-ILO) tarafından “belirli bir zarar ya da yaralanmaya neden olan, beklenmeyen, önceden planlamayan bir olay” olarak tanımlanmıştır. Ancak genel olarak kaza; bir kasıt söz konusu olmaksızın, beklenmeyen ve sonucu istenilmeyen bir olayın ortaya çıkardığı önceden planlanmamış, çoğu kez kişisel yaralanmalara, makinelerin, araç ve gereçlerin zarara uğramasına, üretimin bir süre durmasına yol açan olay olarak tanımlanabilir.



Yargıtay kararları incelendiğinde bir olayın ya da kaza durumunun iş kazası olarak nitelenebilmesi için 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununun 13. maddesinde belirtilen unsurlardan birinin bu olayı kapsamaması gerektiği görüşünün kabul edildiği görülür.

İş kazaları sigortalıların çalışması esnasında aniden meydana gelen ve derhal zarar verme potansiyeline sahip olaylardır. 6331 sayılı Kanunda ise “iş kazası”nın tanımı “işyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen engelli hâle getiren olay” şeklinde yer almaktadır. İş hukukunu ilgilendiren mevzuatı incelediğimizde iş kazasının tanımından çok hangi durumların iş kazası olarak nitelendirileceğinin belirtildiğini görmekteyiz. Bir kazanın hangi durumlarda “iş kazası” olarak sayılacağı ile ilgili hukuki düzenleme 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununun 13. maddesinde yer almaktadır.

Yargıtay kararları incelendiğinde bir olayın ya da kaza durumunun iş kazası olarak nitelendirilmesi için 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununun 13. maddesinde belirtilen unsurlardan birinin bu olayı kapsamaması gerektiği görüşünün kabul edildiği görülür. Bu maddeye göre iş kazası:

- Sigortalının işyerinde bulunduğu sırada;
- İşveren tarafından yürütülmekte olan iş nedeniyle sigortalı kendi adına ve hesabına bağımsız çalışıyorsa yürütmekte olduğu iş nedeniyle, (Değişik: 17/4/2008-5754/8 md.),
- Bir işverene bağlı olarak çalışan sigortalının, görevli olarak işyeri dışında başka bir yere gönderilmesi nedeniyle asıl işini yapmaksızın geçen zamanlarda,
- Hizmet akdi ile bir veya birden fazla işveren tarafından çalıştırılmakta olan emziren kadın sigortalının, iş mevzuatı gereğince çocuğuna süt vermek için ayrılan zamanlarda, ve
- Sigortalıların, işverence sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere gidiş geliş sırasında

meydana gelen ve sigortalıyı hemen veya daha sonradan bedenen ya da ruhen özre uğratan olaydır.

## 3.2. İş Kazalarına Yönelik Yargıtay Kararlarından Örnekler

Ülkemizde iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin pek çok yasal düzenleme yapılmıştır. Ancak bu yasal düzenlemelere rağmen meydana gelen maden kazaları tamamen önlenememektedir. Maden işyerlerinde tüm önlemleri alma sorumluluğu işverenlere aittir. Önlemeye yönelik idari ve cezai nitelikte denetimler devlet eli ile gerçekleştirilmektedir. Ancak kazaların önüne geçilmesinde bu da yeterli gelmemektedir. İşyerinde bir maden kazasının yaşanması sonrasında hukuki süreçler yaşanmakta ve cezai hükümler uygulanmaktadır. Yaşanan dört maden iş kazası örneği ve sonuçları aşağıda paylaşılan Yargıtay kararları ışığında irdelenmiştir.



İşyerinde bir maden kazasının yaşanması sonrasında hukuki süreçler yaşanmakta ve cezai hükümler uygulanmaktadır. Maden işyerlerinde tüm önlemleri alma sorumluluğu işverenlere aittir.



### 3.2.1. Örnek Yargıtay Kararı 1: Gerekli Araç ve Gerecin Temin Edilmemesi

Yargıtay'ın söz konusu kararı gereğince işyerinde fiziki koşulların uygun olmadığı ve imkânların bulunmadığı, bütün bu eksikliklerin defalarca bildirilmiş olmasına rağmen giderilmeden işletmenin çalıştırılmaya devam ettirilmesi nedeniyle sorumlu kişilerin "olası kasıt" ile yargılanmaları gerektiği kanaatine varılmış ve verilen ceza bozulmuştur.

İlgili karar incelendiğinde kök nedenler özetle aşağıda verilen sapsmalarda karşımıza çıkmaktadır;

- Otomatik gaz algılama ve enerji kapatma sisteminin yapılmamış olması, kişisel ölçüm gaz algılama ekipmanlarının ve "vakvak" olarak tabir edilen basit ve ucuz olan uyarı aletinin bulunmaması,
- Ocak üretim noktasına yeterli temiz hava ulaşımını sağlayacak sisteminin kurulmamış olması,

- İdare tarafından bilgi gizlenmesi (grizu biriktiğini bilmelerine rağmen bunu gizledikleri bu nedenle de idarenin denetimini önledikleri), ve
- Denetim ve gözetim eksikliği.

Yargıtay 12. Ceza dairesi, Esas: 2012/21104, Karar: 2013/25712

Yargıtay maden kazası ile ilgili verdiği kararında, sorumlu kişilerin ocakta metan gazı olduğunu bilmelerine rağmen ve daha önce defalarca istenmesine rağmen ocak gaz ölçümünü otomatik olarak yapacak aleti alıp kurmadıkları, yeterli sayıda gaz ölçüm cihazı bulundurmadıkları, "vakvak" olarak tabir edilen basit ve ucuz olan portatif ölçüm aletini bile bulundurmadıkları belirtilmiştir.

Ocak üretim mahalline yeterli temiz hava ulaşımını sağlayacak sistemi kurmadıkları, yeterli ve uygun havalandırma yapılmadığı için ocakta grizu birikmesine neden oldukları, grizu biriktiğini bilmelerine rağmen bunu gizledikleri, bu nedenle de idarenin denetimini önledikleri, madendeki çalışanlara gerekli iş sağlığı ve güvenliği eğitimi verilmesini sağlamadıkları anlaşılmıştır.

Yargıtay, bu sebeplerle fiziki koşulların kötü olduğunu, uygun havalandırma şartlarının bulunmadığını, bütün bu eksikliklerin defalarca bildirilmiş olmasına rağmen var olan problemlerin çözülmeden işletmenin çalışmaya devam ettirilmesi nedeniyle, meydana gelen neticenin öngörülüp kabullenildiği sonucuna vararak, meydana gelen ölümler bakımından olası kastın varlığını oybirliği ile kabul etmiştir.

### 3.2.2. Örnek Yargıtay Kararı 2

13 Mayıs 2014 tarihinde Manisa ilinin Soma ilçesindeki kömür madeninde çıkan yangın nedeniyle 301 madencinin ölümüyle Türkiye Cumhuriyeti tarihinin en çok can kaybı ile sonuçlanan iş kazasına ait tazminat davalarında çalışanların sorumluluğu bulunmadığı belirtilerek söz konusu tazminat davaları kabul edilmiş ve tazminat değerleri de onanmıştır.

21. Hukuk Dairesi, Karar: 2018/7138, Esas: 2019/4233 K.

Yargıtay 21. Hukuk Dairesi, Soma'da 301 çalışanın acı bir şekilde hayatını kaybettiği

maden iş kazası sonrasında müteveffa çalışanın yakınları (eş, anne, baba, kardeş, çocuk) tarafından açılan maddi (destekten yoksun kalma) ve manevi tazminat davasında; müteveffa çalışanların bir kusurunun bulunmadığı belirtilmiştir.

Davalıların müştereken ve müteselsilen sorumlu olduğu, maddi tazminat hesaplamalarının doğru olduğu ve manevi tazminat miktarlarının fahiş olmaması nedeniyle davalıların temyiz taleplerini reddederek Bölge Adliye Mahkemesince verilen kararı onamıştır.

### **3.2.3. Örnek Yargıtay Kararı 3: Baskın Kusurlu Eylem Sonucu İşverenin Asli Kusuru**

Olaya konu yeraltı kömür istihsal, üretim işlerinde ocağın jeolojik, teknik özellikleri nazara alınarak güvenli kömür üretim yönetimini belirleyici tahkimat yönergesi hazırlayarak bu yönergeye sadık kalarak dava konusu iş kazalarına sebebiyet verilmemesi gerekir denilmiştir.

İş kazasına baskın kusurlu eylemiyle sebebiyet veren işverenin asli kusurlu olduğu ifade edilerek yerel mahkemenin kararının bozulmasına karar verilmiştir.

İlgili karar incelendiğinde özetle kök nedenlerin aşağıda verilen sapmalar olduğu görülmektedir:

- Denetim ve gözetim eksikliği,
- Ocağın bölüm ve alt birimlerinde, özellikle gece vardiyalarında etkili iş güvenliği yapılanmasının oluşturulmaması,
- Tahkimat duraylılığı ve sağlamlığının her vardiya kontrol edilmemesi,
- Ocak galerileri, pano ve ayaklarda, kömür, kil veya tavan taşından oluşan kavlakların kontrolü yapılarak güvenli şekilde düşürülmemesi,
- Birer metre ara ile konulan taşıyıcı hidrolik direkler arasında akmalara karşı boşluk bırakmayacak şekilde kamalar çakılmamış olması, ve
- Yönetimsel hatalar yapılması.

Yargıtay 12. Ceza dairesi, Karar Tarihi: 16.04.2013,  
Esas: 2012/18152, Karar: 2013/10059

İşverenin ocaklarda çalışanlar için var olan risk ve tehlikeleri önceden belirleyerek bu tehlikeleri izole edecek önlemleri alarak,

işyerinde iş kazalarını önlemek için her vardiya, her bölüm ve birimde, özellikle de gece vardiyalarında etkin iş güvenliği yapılanmasını oluşturup, etkin denetimi sağlayarak tahkimatın yeterliliğini her vardiyada asgari iki kez denetlemesi gerekir.

Ocak pano ve ayaklarında düşmeye meyilli kömür, kil, tavan taşı gibi kavlakların muayenesi yapılarak güvenli şekilde düşürülüp, birer metre ara ile konulan hidrolik direkler arasından malzeme akmalarına karşı boşluk bırakmayacak şekilde kamalar çakılarak ağır ve tehlikeli, riskli işlerden yeraltı maden üretim işlerinde etkin denetim ve iş güvenliği ile inisiyatifin asla çalışanlara bırakılmaması gerekir.

Kurallara uymayan işverenin, aksine hareketle dava konusu olaya anılan baskın taksirli eylemleri ile iş kazasına sebebiyet vermekle olayda asli oranda kusurlu olduğu kararına varılmıştır.

Cezaların şahsiliği prensibinden hareketle suç tarihinde iş güvenliği sorumlusu ve teknik emniyet mühendisi olan sanığın diğer işveren temsilcileriyle birlikte müşterek kusurunun bulunduğu, hukuki durumunun buna göre takdir ve tayini gerektiği gözetilmeden, delillerin değerlendirilmesinde yanılığa düşülerek yazılı şekilde beraatına hükmedilmesi, kanuna aykırıdır.

### **3.2.4. Örnek Yargıtay Kararı 4: Baskın Kusurlu Eylem Sonucu İşverenin Asli Kusuru**

Türk Ceza Kanununda (TCK) kastın tanımına yer verilmiştir. TCK'nın 21. maddesinde; "Suçun oluşması kastın varlığına bağlıdır. Kasıt, suçun kanuni tanımındaki unsurların bilerek ve istenerek gerçekleştirilmesidir" ifadesi yer almaktadır. Bu hükümden anlaşılacağı üzere; kastın varlığı için iradenin, öngörülen ve bilinen bir sonucu gerçekleştirmek için kullanılması gerekmektedir.

Dolayısıyla, çalışanların iş kazası neticesinde, gerekli güvenlik önlemlerinin alınmaması ve neticesinin öngörülmemesi nedeniyle ölüm ve yaralanması açısından taksirli işlenen suçlar kapsamında yer almakla, kasıtlı bir davranış iş kazası kavramının (bireysel iş hukuku anlamındaki iş kazasının unsurlarından biri dıştan gelen olayın istenilmemesidir) dışına çıkmaktadır.

Bunun yanında, iş kazasına neden olan eylemin doğrudan kasıtlı gerçekleştirilebilmesi mümkün

olmakla, 5510 sayılı Kanununun 21. maddesinin birinci fıkrasında yer alan hükme göre de, iş kazasının kasten işlenebileceği ve sorumluluğunun söz konusu olacağı anlaşılmaktadır.

Olası kast ise, TCK'nın 21. maddesinin ikinci fıkrasında düzenlenmiştir. Bu hükmüne göre, "Kişinin, suçun kanuni tanımındaki unsurların gerçekleşebileceğini öngörmesine rağmen fiili işlemesi halinde olası kast vardır".

Hükmün gerekçesinde ise; "Olası kast durumunda suçun kanuni tanımında yer alan unsurlardan birinin somut olayda gerçekleşebileceği öngörülmesine rağmen kişi fiili işlemektedir. Diğer bir deyişle, fail unsurların meydana gelmesini kabullenmektedir." denilmek şeklinde ifade edilmiştir. Öğretide bir tanıma göre ise olası kast, failin hareketinin belirli bir neticeyi ortaya çıkarabileceğini öngörmesine rağmen söz konusu hareketi yapmaktan vazgeçmemesi, "olursa olsun" diye düşünmesidir.

Diğer bir deyişle, asıl olarak amaçlanan neticenin dışında gerçekleşebilme ihtimali olan diğer neticeleri de öngörmekle beraber, fail "olursa olsun" düşüncesiyle, sonuçları göze almaktadır denilerek karar bozulmuştur.

Yargıtay 12. Ceza dairesi, Esas: 2012/21104, Karar: 2013/25712, Karar tarihi: 14.11.2013

Grizu patlamasının gerçekleşebileceği öngörülmesine rağmen hiçbir önlemin alınmaması, tehlikeli durumu gizleme hareketlerinin ve "olursa olsun" (alınması gereken önlemleri almamak amacıyla usule aykırı denetim raporları ve iş takip defteri düzenlenmesi) düşüncesiyle ve sonucu kabullenmeleri nedeniyle olası kast hükümleri uygulanacağından, yerel mahkemenin kararını bozmuştur.

## 4. İŞ KAZALARININ NEDENLERİ VE MALİYETİ

### 4.1. İş Kazalarının Nedenleri

Maden kazaları sonucu; çalışanlar ve aileleri telafi edilemez kayıplara uğrayabilmekte, işverenler ise manevi kayıplarının yanında büyük maddi kayıplara uğrayabilmektedirler. Bununla birlikte, ülkemiz ekonomisi de, meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıkları sonucunda ödenen sürekli ve geçici iş göremezlik ödeneği, maluliyet ödeneği vb. ödemeler nedeniyle büyük zarara uğramaktadır (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Haziran 2013).

İşvereni maddi ve manevi kayba uğratan iş kazaları ve meslek hastalıklarını meydana getiren nedenler aynı zamanda kök neden analizleri yapılırken belirlenen temel hata kaynaklarıdır.

Aşağıda dokuz kategori altında sınıflandırılarak sunulan çeşitli tehlikelerin **yeraltı maden işyerlerinde** bulunması, çalışanların iş kazasına uğrama ve meslek hastalığına yakalanma ihtimalinin sürekliliği ile karşı karşıya bırakabilecek temel kök nedenlerdir. Kök neden analizleri yapılırken özellikle kök nedenleri sınıflandırmak analizleri yaparken kolaylık sağlamaktadır.

#### 1. Fiziksel Tehlikeler

- Titreşim;
- Gürültü;
- Ocakta uygun olmayan hava koşulları (yetersiz maden hava akış hızı ve debisi, aşırı ortam sıcaklığı, nem, vb.) ve
- Yetersiz veya aşırı aydınlatma.

#### 2. Mühendislik Hataları

- Tasarım ve saha uygulamalarında iş organizasyonunun iyi planlanamaması (uygun kalifiye personelin bulunmaması, yeterli miktarda çalışan olmaması vb.);
- Makine ve teçhizatlarda eksiklik;
- Nitelik ve nicelik olarak yetersiz işgücü kullanımı;
- Organizasyon eksiklikleri;
- Kayaçların ve tabakaların uygun tahkimat ve tabaka kontrolü tasarımı için yeterince etüt edilmemesi;
- Yetersiz jeolojik, jeoteknik ve jeofiziksel etütler;



Maden kazaları sonucu işvereni maddi ve manevi kayba uğratan, çalışanları doğrudan etkileyen ve sağlıklarını direkt olarak tehdit eden iş kazaları ve meslek hastalıklarını meydana getiren nedenler aynı zamanda kök neden analizleri yapılırken belirlenen temel hata kaynaklarıdır.

- Metan, hidrojen sülfür, karbondioksit gibi tehlikeli gaz potansiyeli bulunan madenlerin kurulum öncesinde içerik ve ocak atmosferine yayılım özelliklerinin yeterince etüt edilmemesi;
- Özellikle basınçlı akiferler olmak üzere yeraltı sularına yönelik uzun dönem etütlerin ihmal edilmesi;
- Yetersiz bilgi ve girdi eksikliğinden ya da mühendislik yetkinliğinin yetersiz oluşundan kaynaklanan tasarım hataları;
- Uygun tasarıma karşın tasarımla uyumlu uygulama yapılmaması;
- Tasarıma uygun tahkimat veya havalandırma teçhizatının kullanılmaması;
- Tahkimat çevresindeki boşlukların doldurulmaması;
- Yeraltı gaz izleme sistemine entegre sensörlerinin sayı olarak yetersizliği;
- Yeraltı gaz izleme sistemine entegre sensörlerinin uygun veya kritik noktalara yerleştirilmesinde yapılan hatalar;
- Metan, karbondioksit vb. gaz izleme ve otomatik enerji kesme sistemi hataları;
- Gaz izleme sistemlerindeki cihaz arızaları ve/veya kalibrasyon eksiklikleri;
- Portatif olarak gaz detektörü sayısının yetersizliği ve periyodik kalibrasyonlarının yapılmaması;
- Personel takip sisteminin ocakta çalışanların konumlarını doğru şekilde tespit edecek şekilde kurulumuna dair tasarım hatası;
- Havalandırma sistemi tasarım hatası;
- Kömür tozu patlamalarını önleme tekniklerindeki eksiklikler ve hatalar (uygun nitelikte taş tozu, kum vb. kullanılmaması, su torbalarının yetersizliği vb.);
- Elektrik ve mekaniksel sistemlerin maden için uygun patlama korumalı (exproof) nitelikte olmaması;
- Gazlı maden ocaklarına özel patlama korumalı cihazlarının bakım ve montajlarının nitelikli elemanlar tarafından yapılmamış olması;
- Patlama korumalı cihazların koruma özelliklerinin hasarlanma sonucu veya uygun bakım ve montaj yapılmaması sebebi ile kaybedilmiş olması; ve

- Elverişsiz noktalarda uygun olmayan trafo, elektrik panosu, havalandırma fanı vb. cihazların kullanılması.

### 3. Kazı Hataları

- Ayak yüksekliğinin fazla olması;
- Ayak arkasının hatalı kesilmesi;
- Kontrol sondajlarının uygun şekilde yapılmaması;
- Tavandaki çatlak veya kesiklere dikkat edilmeden ilerlenmesi;
- Tavanda kömür yükselmesi durumunda önlem almama;
- Tahkimatı tamamlanmayan arında kazı yapılması; ve
- Hatalı patlatma.

### 4. Kimyasala Maruz Kalma Tehlikeleri

- Madendeki solumaya toksik olan organik sıvıları, ergimiş haldeki metal buharları;
- Radyoaktif maddelere ve ışınlara, kızılötesi ve mor ötesi ışınlara maruziyet;
- Asit ve/veya baz kaynaklı kimyasal yanmalar ve
- Madendeki sağlığa zararlı tozlar, fibrojenik veya toksik veya kanserojen veya alerjik tozlar.

### 5. Elektrik İle Çalışma Esnasında Meydana Gelebilecek Tehlikeler

- Topraklama ve yalıtkan kısımlarda ara atlama yapılmamış ekipmanlar;
- İş ekipmanındaki topraklamanın yönetmeliğe uygun periyotlar ile kontrolünün yapılmaması;
- Elektrik ve aydınlatma tesisatı ile ilgili kontrol raporlarının alınmaması;
- Kırık, yıpranmış veya hatalı onarılmış el aletleri;
- Ehil olmayan kişilerin elektrik aksamına müdahale etmesi;
- Elektrik pano önlerindeki zeminin yalıtılmaması;
- Yüksek gerilim bulunan alanlarda personel tarafından yapılacak çalışmada gerekli İSG kurallarına riayet edilmemesi ve
- Maden sahasında gerekli kişisel koruyucu donanımın (KKD) bulunmaması.

## **6. Çevresel ve Jeolojik Nedenler**

- Yeraltı suları;
- Yatay ve dikey kaya ortam gerilmeleri;
- Kaya patlaması; ve
- Jeolojik arıza ve süreksizlikler.

## **7. Mekanik Tehlikeler**

- Kullanılan makinelerde ezen, delen, kesen, dönen işlem koruyucularının bulunmaması;
- İş Ekipmanlarındaki tahrik noktalarında gerekli koruyucuların takılmamış olması;
- Makineyi tehlike anında durduracak acil durdurma butonları ve enerjinin kesilmesi gibi tedbirlerin bulunmaması;
- Madende gereğince koruyucu teçhizat içeren makine ve iş ekipmanı olmaması;
- Maden içerisinde uygun haberleşme ve acil durumları ihbar edecek yeterli uyarı sistemi olmaması; ve
- Madendeki iş ekipmanları ve makinelerin, yönetmeliklere uygun olarak gerekli periyodik kontrolleri ile bakımlarının yapılmaması.

## **8. Tehlikeli Yöntem ve İşlemler**

- Çalışanlar tarafından makinelerdeki koruma tertibatının iptal edilmesi;
- Kaldırma ekipmanlarında yük sınırının aşılması;
- Yönetmeliklere ve prosedürlere uygun olarak etiketlenme ile işaretleme yapılmamış olması;
- İş kazasına sebep olunmaması için tehlikeli alanlarda uyarı ile ikaz uyarı işaretlerinin bulunmaması;
- Kimyasallara ait güvenlik bilgi belgesi (SDS) üreticiden alınmadan maden işyerinde kullanılması;
- İşe yeni başlayan çalışanı çalıştığı işle ve iş sağlığı ve güvenliği konularında eğitim vermeden çalıştırma;
- Belli aralıklarla ya da yönetmeliğe uygun olarak iş kazası veya meslek hastalığına uğrayan personele işyerine başlamadan önce veya altı aydan fazla süre ile madenden uzak kalması, çalışanlara iş sağlığı ve güvenliği hususunda hatırlatma eğitimlerinin verilmemesi;

- Madende acil durumlarla ilgili sinyal/ikaz vermeden iş ekipmanlarının çalıştırılması veya durdurulması;
- Enerjisi kesilmemiş ve çalışır vaziyette olan madendeki iş ekipmanı veya makinede bakım ve onarım yapılması;
- İş ekipmanında veya makinede bakım onarım esnasında enerjisi kesilmeyen veya stop vaziyette beklenmede bırakılan ekipmanın veya makinenin harekete geçmesine karşı önlem alınmaması;
- Enerjisi kesilmeyen veya stop vaziyette beklenmede bırakılan ekipmanda çalışır halde iken yağlanma ve temizlik ile ayar yapılması;
- Tank ve depolarda tam olarak içerisindeki kimyasal boşaltılmadan temizlenme yapılmaya çalışılması ve bakım onarım ve kaynak yapılması;
- Yüksekten düşmeye karşı tedbir alınmamış olması;
- Yanıcı ve patlayıcı kimyasalların kullanıldığı alanlarda elektrik tesisatının patlama korumalı (exproof) tipte ekipman olarak seçilmemiş olması;
- Yanıcı ve patlayıcı kimyasalların kullanıldığı alanlarda sigara içilmesi;
- Madende yükleme ile boşaltma yapılacak alanlarda uygun ekipman ve yöntemin seçilmemiş olması;
- Madende iş ekipmanlarının, malzeme/teçhizatın ve makinelerin uygun şekilde yerleştirilmemesi; ve
- Madende çalışan personel tarafından kişisel koruyucu donanımı (KKD) kullanılmaması.

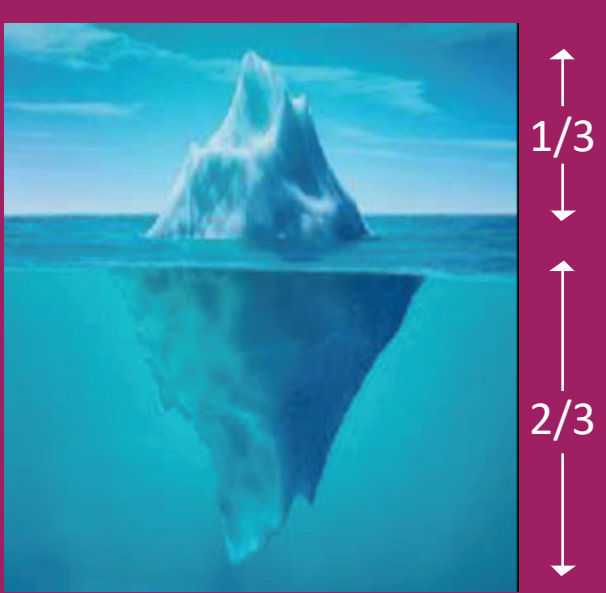
## **9. İşyeri Ortamından Kaynaklanan Tehlikeler**

- Maden zeminindeki hatalar;
- Madendeki yetersiz geçitlerin varlığı;
- İşletmede yetersiz sayıda yer üstü bağlantısının bulunması;
- Madendeki iş alanının uygun olmaması; ve
- Madendeki düzensiz, dağınık ortamların bulunması ve malzeme nedeni ile çalışanların düşmeye, çarpmaya ve, kayma ile kesikler gibi tehlikelere maruz kalması.

## 4.2. İş Kazalarının Maliyeti

İş kazasının hemen sonrasında gerçekleşen maliyetler toplam maliyetin küçük bir bölümüdür. Maden iş kazası sonucunda meydana gelen maliyetlere bakıldığında aslen buz dağının altında kalan maliyetlerin çok daha büyük olduğu görülecektir. Şekil 4.1'de verilen buzdağı örneği incelendiğinde muhtemelen bir iş kazası sonrası ortaya çıkabilecek maliyetlerin büyük bir bölümünün buz dağının görünmeyen kısmında olduğu görülecektir. (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2005).

Buz dağının suyun üstünde kalan direkt olarak ortaya çıkan maliyetler toplam maliyetlerin üçte birini oluştururken suyun altında kalan görünmeyen maliyetler ise toplam maliyetin üçte ikisini oluşturmaktadır (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2005).



### Görünür Maliyetler

- Tıbbi maliyetler
- Sigortaya ödenen maliyetler
- Tazminat maliyetleri
- SGK Kurumuna ödenen rücuen tazminat maliyetleri

### Görünmeyen Maliyetler

- Çalışma günü ile iş gücü kaybı oluşması maliyeti
- Ceza ve hukuk mahkemesi nedeni ile ortaya çıkan maliyetler
- Madende kaza nedeni ile çıkan fazla mesai maliyetleri
- Bina, makina, alet, teçhizat, üretim veya üründeki hasarın maliyeti
- İşin durması nedeni ile ortaya çıkan maliyet
- İşyerinde yapılan denetim, araştırma ve yazışmaların maliyeti
- Verimin düşmesinin maliyeti
- Çalışanlardaki moral bozukluğunun getirdiği maliyet
- Kazalı çalışanın yerine alınan geçici çalışana verilen eğitim maliyeti

Görünmeyen (Dolaylı) maliyetlerin hangi maliyet kalemlerinden ibaret olduğu ve bu maliyetlerin nasıl belirlenebileceğini kesin olarak tahmin edebilmek hiç de kolay değildir. Bu dağın suyun altında kalan maliyetler genellikle iş kazası ortaya çıktıktan sonra ve zamanla gelişen ya da ortaya çıkan ve kaza oluşmadan tahmin edilerek hesaplanması mümkün olmayan maliyetlerdir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2005).

İş kazaları ve meslek hastalıkları sonrasında ortaya çıkan görünür ve görünmeyen maliyetler aşağıda verilmiştir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2005).

### Görünür (Direkt) maliyetler:

- Kaza sonrasında ilk anda müdahale ile ambulans ve tedavi maliyeti,
- Çalışana yapılan geçici veya sürekli iş göremezlik ve ölüm ödeme maliyetleri,
- Hukuki süreç sonucunda ödenen maddi ve manevi tazminat ödemeleri,
- Sigorta kapsamında ödenen cezalar ve SGK kurumuna ödenen rücuen tazminat ödemeleri,

### Görünmeyen (Dolaylı) maliyetler:

- Madenin bir bölümünün hasar görmesi, yangın, patlama meydana gelmesi veya çökerek çalışamaz hale gelmesinin maliyeti;
- Üretimde kazazedenin veya olaya tanık olanların, ifade verenlerin vb. çalışmaması nedeniyle üretim veya iş gücü kaybının maliyeti;
- Hukuki ve Cezai mahkeme giderleri, keşif bedelleri, bilirkişi ücretleri vb. masraflar;
- Şayet ölüm gerçekleşmiş ise ölen çalışanın yerine işe alınan yeni çalışanın işe alışması ve eğitim, bilgilendirme, işe alıştırmaya vb. adımlar nedeni ile veriminin yeterli olmamasının getirdiği maliyet;
- İş kazası sonrasında üretime yeniden başlayabilmek maksadı ile gerçekleştirilen fazla mesai maliyeti;
- İş kazası esnasında, ilgili alan ve bölümde işin durması söz konusu ise bu nedenle üretim, iş günü, iş gücü kaybının maliyeti;
- İş ekipmanlarının hasar görmesi sebebi ile bakım, tamir ya da yeni makine satın alınması gerektiği durumda ortaya çıkan ekipman satın alım maliyeti;

Şekil 4.1 İş kazası maliyetleri - buzdağı örneği (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2005).

- Çalışanların kaza nedeni ile morallerinin bozulması sebebi ile kazayı konuşmaları ve düşünmeleri nedeni ile istemli ya da istemsiz olarak iş yavaşlatmalarının maliyeti;
- İş kazası nedeni ile hukuki süreç kapsamında veya işyerinin disiplin kurallarına uymama nedeni ile İş Kanununun ilgili maddelerine aykırılık nedeni ile bir personelin işten çıkarılması durumu söz konusu ise işe o personel yerine alınacak çalışana verilecek eğitim ve çalışanın işi öğreninceye kadar geçen sürenin getirdiği maliyet;
- Kaza incelemeleri, mahkeme süreçleri, Rehberlik ve Teftiş Başkanlığı incelemeleri, SGK uzmanlarının incelemeleri vb. bürokratik işlemlerle ilgili harcanan zaman ve maddi olarak yapılan harcamalar; ve
- Madendeki planlanan üretim sürecinde geriye kalınması ve üretimi yapılacak olan madenin zamanında çıkarılmaması sebebi ile sözleşme gereğince ödenecek tazminatlar ve üretim kayıp maliyetleri. (Özdilek İslamoğlu, 2005)

### 4.3. İş Kazası ve Meslek Hastalığı İstatistiklerinin Oluşturulması

Uluslararası direktiflerdeki değişiklikler nedeni ile ülkeler arasında veya bir organizasyondan diğerine endüstriyel veya maden nedenli kazalar hakkındaki istatistiklerin oluşturulmasında kullanılan analizler çok geniş çapta değişiklikler gösterebilmektedir. İş kazası ile ilgili bilgileri istatistiki olarak derleyen kaynaklar aşağıda gösterildiği gibidir:

- Ulusal/uluslararası istatistiki veri derleme kurumları,
- SGK/tazminat organizasyon veya kurumları,
- Ulusal/uluslararası sigorta kurumları,
- Rehberlik ve teftiş başkanlıkları,
- İş kazası ve meslek hastalıkları husunda çalışan organizasyonlar.

1998 yılında Cenevre’de gerçekleştirilen 16. Uluslararası Çalışma İstatistikçileri Konferansı’nda (ICLS) iş kazası ve meslek hastalıkları istatistikleri ile ilgili olarak alınan ilke kararına göre aşağıdaki istatistik terimlerinin göz önüne alınması konusunda hem fikir olunmuştur.

- İş kazası sonucu mesleki olarak kaza oluşumu,

- İş kazası sonucu mesleki olarak yaralanma oluşumu,
- İş göremezlik meydana gelmesi.

ICLS’de alınan ve rapora dökülen ilke karara göre, iş kazası ile ilgili derlenen veriler istihdamda tutulan çalışanların statüleri dikkate alınmaksızın ülke/ülkelerüstü çalışan ile tek başına çalışan işverenler ve tüzel kişilik olan işverenler olmak üzere tüm işyerlerini ve personellerini kapsayacaktır. İşgünü/ işgücü kaybına neden olabilen iş kazası veya meslek hastalığı sonucu yaralanma olayları ile ilgili olarak aşağıdaki kriterler dikkate alınacaktır (Özdilek İslamoğlu, 2005).

- Toplam gerçekleşen kaza sayısı,
- Ölümle gerçekleşen kaza sayısı,
- Ölümle sonuçlanmayan kaza sayısı, ve
- Geçici İş Göremezlik ile sonuçlanan kaza Sayısı.

İş kazası istatistikleri genellikle veriye dahil edilirken çoğunlukla ve genellikle ne yazık ki meslek hastalıkları kaza istatistikleri kapsamı hesabına dahil edilmemektedir. İş kazası istatistiksel verilerinin oluşturulmasında kullanılan veriler arasında farklılıklar olması nedeniyle, karşılaştırma yapabilmek amacıyla ölçümlerde herkes tarafından bilinen ve kabul edilmiş olan hesaplama kriterlerinin kullanılması işverenlere fayda sağlayacaktır. Bunlar; kaza sıklık (frekans), kaza olabilirlik (rastlantı-olasılık) ve kaza ağırlık (şiddet) oranlarıdır.

1998 yılında gerçekleştirilen 16. ICLS’de kaza sıklık oranı, kaza ağırlık oranı ve kaza olabilirlik frekansı gibi istatistiksel verilerin tutulması da işyeri yetkililerine önemli veriler sağlayacaktır (Özdilek İslamoğlu, 2005).

#### a) İş Kazası Sıklık Oranı Hesaplaması:

Bir çalışma yılı içerisinde meydana gelen ölümlü ya da ölümlü olmayan iş kazaları kapsamında gerçekleşen olayların toplam sayısının, aynı süre boyunca referans grupta yer alan personelin çalışma saatlerinin toplamına bölünmesiyle bulunan değer 1.000.000 katsayısı ile çarpılmasıyla hesaplanır (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Ağustos 2013).

Örnek Hesaplama:

Bir madende, 300 iş günü ve bir günde tek vardiya ve 8 saat çalışıldığı kabulü ile bir yıl içerisinde meydana gelen iş kazası sonucu kaybedilen iş günü toplamı ile ilgili kaza sıklık oranı, iki farklı

formül ile hesaplanabilir: (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Haziran 2013)

**I. YÖNTEM:** 300 iş günü yani bir yıl çalışılan bir işyerinde 1.000.000 iş saatine karşılık ne kadar kaza olduğunu gösterir:

$$KSO = \frac{\text{Toplam kaza sayısı}}{\text{Toplam insan saat çalışma sayısı}} \times 1.000.000$$

[4.1]

**II. YÖNTEM:** Bir madende 8 saat ve üzeri çalışan her 100 kişi arasında o işyerinde kaç adet kaza olduğunu gösterir: (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Ağustos 2013)

$$KSO = \frac{\text{Toplam kaza sayısı}}{\text{Toplam insan saat çalışma sayısı}} \times 225.000$$

[4.2]

#### b) İş Kazası Ağırlık Oranı Hesaplaması:

300 iş günü ve bir günde tek vardiya ve 8 saat çalışıldığı kabulü ile o yıl içerisinde meydana gelen iş kazası sonucu yaralanma veya ölüm nedeni ile oluşan toplam kayıp gün sayısının, aynı yıl o işletme içerisinde çalışma saatlerinin toplamına bölünmesiyle elde edilen değer 1.000 katsayısı ile çarpılması ile hesaplanır. Söz konusu iş kazası ağırlık oranları aşağıdaki formül ile hesaplanacaktır (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Ağustos 2013).

**I. YÖNTEM:** Bir madende, 300 iş günü ve bir günde tek vardiya ve 8 saat çalışıldığı kabulü ile bir yıl içerisinde çalışılan 1.000 saatte kaç iş gününün iş kazası sonucu kaybedildiğini gösterir.

$$KAO = \frac{\text{Kazalardan dolayı toplam kayıp gün sayısı}}{\text{Toplam insan saat çalışma sayısı}} \times 1.000$$

[4.3]

**II. YÖNTEM:** Bir madende, 300 iş günü ve bir günde tek vardiya ve 8 saat çalışıldığı kabulü ile bir yıl içerisinde çalışılan her 100 saatte kaç saatin iş kazası sonucu kaybedildiğini gösterir. (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Haziran 2013)

$$KAO = \frac{\text{Kazalardan dolayı toplam kayıp gün sayısı}}{\text{Toplam insan saat çalışma sayısı}} \times 8 \times 100$$

[4.4]

Formüldeki değişkenler;

**Toplam Gün Kaybı** : İş kazası, meslek hastalığı sonucu toplam gün kaybı

Toplam Gün Kaybı = (Geçici iş göremezlik süreleri) + (sürekli iş göremezlik dereceleri toplamı x 75) + (ölüm vaka sayısı x 7.500)

[4.5]

**1.000.000** : Çalışılan her 1.000.000 iş saatinde iş kazası nedeniyle kaybolan iş saatini bulmak için kullanılır.

**100** : II. yöntemde, çalışılan her 100 iş saatinde iş kazası nedeniyle kaybolan iş saatini bulmak için kullanılır.

Yukarda verilen formüller çerçevesinde oranların hesaplanması sırasında eğer ölümlü iş kazası veya sürekli iş göremezlik durumu mevcut ise, kazalardan dolayı toplam kayıp gün sayısına, her ölümlü ve/veya sürekli iş göremezlik olayı için ayrı ayrı 7.500 gün eklenmesi gerekmektedir. Geçici iş göremezlik hallerinde, tıbbi işlemlerin bir günden daha az sürmesi durumları dikkate alınmamaktadır (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Haziran 2013).

#### c) İş Kazası Olabilirlik Oranı Hesaplanması:

Bir madende, 300 iş günü ve bir günde tek vardiya ve 8 saat çalışıldığı kabulü ile bir yıl içerisinde ölümlü ve/veya ölümlü olmayan iş kazalarının toplam sayısının, aynı yıl içerisinde madende çalışanların toplam sayısına bölünmesiyle elde edilen değer 100.000 katsayısı ile çarpılmasıyla hesaplanır (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Haziran 2013).

Söz konusu oran, istatistik verilerinin elde edilmesi ve değerlendirilmesi açısından daha basit ve sade bir oranı temsil etmektedir. Oran tipleri çeşitli ülkelerde, istihdam edilen her 100.000 Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) ile Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) tarafından hazırlanmakta olan istatistiklerde her 100.000 çalışan sayısına göre değerlendirme yapılmaktadır. Bu değer, ülkemiz için SGK verilerinden elde edilebilmektedir (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Haziran 2013).

#### d) İş Kazası Olgu Hızı Hesabı:

Madende meydana gelen tüm kazaya ramak kalma ile, tehlikeli durum ile sağlığı tehdit edebilecek durumlar ile ilgili olarak, hafta, ay, yıl gibi belirlenmiş bir zaman kesiti içinde madende oluşabilecek olası iş kazası hızı yani olgu hızı belirlenmiş bir

zaman kesiti içinde madende oluşabilecek olası iş kazası hızı yani olgu hızı hesaplanabilir. Söz konusu hesaplama maden işyerinde ne sıklıkta bir olay meydana geldiğini ifade eder. Bu hesaplama için kullanılan iki yöntem mevcuttur.

sonucu bulunan bir değerdir.

**I. YÖNTEM:** Bir madende, 300 iş günü ve bir günde tek vardiya ve 8 saat çalışıldığı kabulü ile bir yıl içerisinde çalışılan

1.000.000 iş saatine karşılık kaç iş kazası vakası olduğunu gösterir (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Haziran 2013).

$$OH = \frac{\text{Olgu sayısı}}{\text{Toplam çalışma saati}} \times 1.000.000$$

[4.6]

**II. YÖNTEM:** 300 iş günü ve bir günde tek vardiya ve 8 saat çalışıldığı kabulü ile o yıl içerisinde çalışan her 100 kişi arasında kaç iş kazası vakası olduğunu gösterir (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Haziran 2013).

$$OH = \frac{\text{Olgu sayısı}}{\text{Toplam çalışma saati}} \times 225.000$$

[4.7]

Olgu/iş kazası vaka sayısı, tüm kazaya ramak kala olayları, tehlikeli durum bildirimleri ile üç gün ve üzerinde iş göremezlik raporu alınan iş kazalarının ve hastalanmaların sayısının toplamıdır (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Haziran 2013).

Formüldeki değişkenler;

**Olgu/iş Kazası Sayısı :** Tehlikeli durum, ramak kala, bir gün raporlu iş kazaları, hasarlı kazaların tüm toplam sayısı.

**Toplam Çalışma Saati :** Her gün için 8 saatlik tam çalışma ile çarpılarak tüm sigortalıların bir yıl içinde toplam çalışma saati bulunur.

**1.000.000 :** Çalışılan bir milyon iş saatinde iş kazası sayısını bulmak için kullanılır.

**225.000 :** II. yöntemde, tam gün çalışan 100 sigortalının haftada 45 saat, yılda 50 hafta çalıştığı kabul edilerek yapılan hesap

#### e) İş Kazası Sonucu Mal Hasar Frekansı :

Hafta, ay, yıl gibi belirlenmiş bir zaman dilimi içerisinde meydana gelmiş olan ve kabul edilmiş bir değeri aşan hasarlanmaya neden olan iş kazalarının sayısını tahmin etmek için kullanılır. Farklı bir şekilde tarif edecek olursak, bu oran "Ekipman/tesis hasarlı kazaların ne kadar sık" olduğunu gösterir. Söz konusu oranı hesaplayabilmek maksadı ile iki yöntem mevcuttur (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Haziran 2013).

**I. YÖNTEM:** Bir madende, 300 iş günü ve bir günde tek vardiya ve 8 saat çalışıldığı kabulü ile bir yıl içerisinde çalışılan 1,000,000 iş saatine karşılık ne kadar ekipman veya tesisat hasarlı kaza olduğunu gösterir (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Haziran 2013).

$$MHF = \frac{\text{Hasar olay adedi}}{\text{Üretim toplam saati}} \times 1.000.000$$

[4.8]

**II. YÖNTEM:** Bir madende, 300 iş günü ve bir günde tek vardiya ve 8 saat çalışıldığı kabulü ile bir yıl içerisinde çalışan her 100 kişinin çalışması durumunda ne kadar ekipman veya tesisat hasarlı kaza olduğunu gösterir (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Haziran 2013).

$$MHF = \frac{\text{Hasar olay adedi}}{\text{Üretim toplam saati}} \times 225.000$$

[4.9]

Formüldeki değişkenler;

**Üretim Toplam Saat :** Ofis grubu hariç, üretimde tüm çalışanların iş için harcadığı toplam çalışma saati.

#### f) İş Kazası Sonucu Ekipman/Tesisat Hasar Fiyatı Şiddet Frekansı Hesabı:

Hafta, ay, yıl gibi belirlenmiş bir zaman dilimi içerisinde meydana gelmiş olan ve kabul edilmiş bir değeri aşan büyük ekipman veya tesisat kaybına neden olan iş kazalarındaki hasar maliyetini belirlemek için kullanılır. Bu oranı hesaplamak için kullanılan iki yöntem mevcuttur (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Haziran 2013).

**I. YÖNTEM:** Bir madende, 300 iş günü ve bir günde tek vardiya ve 8 saat çalışıldığı kabulü ile bir yıl içerisinde 1.000.000 iş saatine karşılık meydana gelen ekipman/tesisat hasarlı kazaların maliyetini gösterir. Şu formül ile hesaplanabilir: (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Haziran 2013)

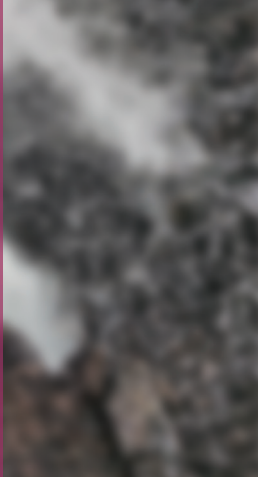
$$MHFŞF = \frac{\text{Hasar olayının toplam bedeli}}{\text{Üretim toplam saati}} \times 1.000.000 \quad [4.10]$$

**II. YÖNTEM:** Bir madende, 300 iş günü ve bir günde tek vardiya ve 8 saat ve üzerinde çalışan her 100 kişinin çalışması esnasında meydana gelen ekipman/tesisat hasarlı iş kazalarının maliyetini gösterir. Şu formül ile hesaplanabilir: (Özdilek İslamoğlu, Forum Media, Haziran 2013)

$$MHFŞF = \frac{\text{Hasar olayının toplam bedeli}}{\text{Üretim toplam saati}} \times 225.000 \quad [4.11]$$



Yaralanma ve hastalık maliyetleri toplam maliyetin küçük bir parçasıdır. Maden iş kazaları sonucu meydana gelen kazaların toplam maliyeti en iyi buz dağı örneği ile açıklanabilir.



## 5. RİSK YÖNETİM KÜLTÜRÜ

### 5.1. Risk Yönetim Kültürü ve Kök Neden Analizleri İlişkisi

Tüm işyerlerinde olduğu gibi maden işletmelerinde de, sağlıklı bir güvenlik kültürü ve iş güvenliği bilinci altyapısı oluşturabilmek için, risklerin yönetilmesi ile ilgili yaklaşımın tüm paydaşlarca kabulü ve bu stratejinin yönetimce taahhüdünün sağlanması gerekir. Hedeflenen risk yönetimi çerçevesinde yetki ve sorumluluklar net olarak tanımlanmalı ve bu amacı yerine getirebilmek için ihtiyaç duyulan kaynaklar seferber edilmelidir (Şekil 4.2) ( Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

Organizasyon bakımından işyerinde bir risk güvenlik kültürü altyapısının geliştirilmesi ve kuruluş içinde tüm paydaşlarca risk algısı için üst yönetimin desteğinin alınması zorunludur. İşyerinde bulunan birçok risk kaynağı pek çok birim/kısım üzerinde olumsuz potansiyel etkilere sahiptir. İş güvenliği, üretim, kalite, çevre arasındaki yakın ilişki bir maden firmasının marka değerine ve finansal durumuna doğrudan etki eder. Bu yüzden, iş yerindeki risk yönetimi üzerine alınan kararların diğer etki alanlarına sağlayacağı faydaları ve getireceği maliyetleri göz ardı etmemek gerekir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

Maden işletmelerinde, iş sağlığı ve güvenliği risklerinin en iyi şekilde yönetilebilmesi amacıyla iş sağlığı ve güvenliğinin, risk yönetimi ve güvenlik kültürü anlayışıyla birleştirilmiş bir parçası olmalıdır. Maden işletmelerinde, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili risklerin değerlendirilmesi ve bu risklere uygun önlemlerin planlanması ve yönetilebilmesi için etkili aktiviteler belirlenmelidir. Risk yönetim sistemi süreçleri kapsamında İş Sağlığı Güvenliği Yönetim Sistemi (ISO 45001), Çevre Yönetim Sistemi (ISO 14001) vb. yönetim sistemleri birleştirilebilir. Entegre yönetim sistemleri kurularak işletme kaynaklarının gereksiz olarak tekrar kullanımı önlenecektir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

Güvenlik kültürü geliştirilmiş “İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetimi” kurulumu yalnızca üst yönetimin veya personellerin sorumluluğunda olmamalıdır. Ayrıca madene ait organizasyon şemasında yer alan tüm müdürlerin, firma danışmanlarının, iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarının ve tüm çalışanların bu çalışmalar içinde faal olarak görev almaları gereklidir. Görev yetki ve sorumluluklar belirlenirken üst yönetim ile potansiyel tehlikeli bir hareketi doğrudan gözlemleyebilecek herkesi kapsar ve tümünün taahhüdünü gerektirir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

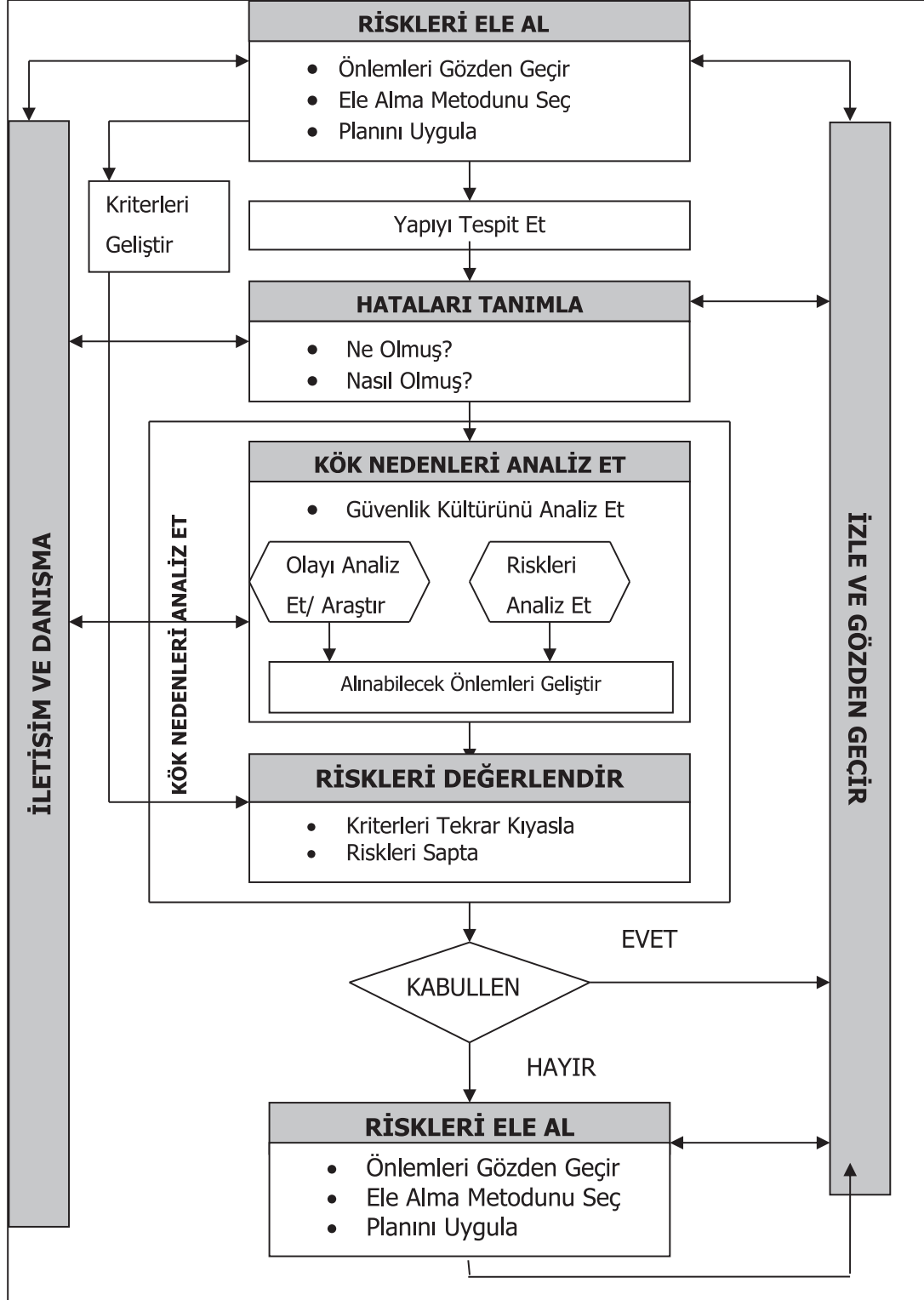
Maden işyerlerinde güvenlik kültürü oluşmasını sağlamak için tüm paydaşların öncelikle konuya inanması gerekir. İş güvenliği önceliği hakkında yönetimin gelen ilkelik duruş ve istikrarlı davranış, madende meydana gelebilecek tehlikeli durumların kontrol edilmesi ve tanınması için önemlidir. Maden gibi tehlikeli bir iş kolunda “İş Güvenliği Kültürü”nü geliştirmek için, bir organizasyonun risklere karşı sahip olacağı genel davranış biçiminin büyük önemi vardır (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

“Çok Tehlikeli” sınıfta yer alan maden işletmesinde güvenlik kültürü ve risk yönetimi sistemine sahip olmak demek, insanların içinde birlikte çalışabilecekleri ve herhangi bir kayıp olmadan önce potansiyel



“İş Sağlığı ve İş Güvenliği Yönetimi” altyapısı oluşturabilmek için, bir risk yönetimi yaklaşımının tüm paydaşlarca kabulü ve bu stratejinin yönetimce taahhüdünün sağlanması gerekir. Ayrıca etkin bir “İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Yönetim Kültürü” için herkesin koyulan hedefe gerçekten inanması gerekir.

problemleri tanıyabilecekleri ve bunları ortadan kaldıracabilecekleri proaktif bir yaklaşıma sahip olmaları demektir. İşte bu, risk yönetimi kültürünün tam olarak en önemli parçalarından birini “**Kök Neden Analizleri**” oluşturur. Kök neden analizleri proaktif olarak kazalar meydana gelmeden önce uygulanır ve potansiyel problemler tanımlanabilirse kayıplar azaltılır veya tamamen önlenir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).



Şekil 4.2 Risk Yönetim Kültürü (Avustralya Standartı, Haziran 2002).

## 5.2. Tehlike, Risk Kavramı ve Risk Değerlendirme Yöntemleri

Tehlike nedir? İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliğine göre tehlike; işyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyelini, ifade eder.

Genel olarak tüm risk tanımlamalarında tehlike ve bu tehlikenin olabirliğinden yani olasılığından bahsedilmektedir. Risk kavramı ile belirsizlik kavramının iç içe iki kavram olduğu konusunda ise neredeyse tüm risk analizi disiplinindeki otoritelerin hem fikir olduğunu söyleyebiliriz (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

Belirsizlikte mevcut olan “bilinmezlik” ve “sürpriz” şeklindeki iki boyut, risk için “tehlike” ve “olasılık” şeklindedir. Yaşamda sıfır risk hiçbir zaman söz konusu değildir. Alınan her karar, atılan her adımın istenmeyen bir yönü mevcuttur ve bir risk içermektedir. Karar vericiler ister akıl yoluyla, ister sezgileriyle olsun, bir olayın gerçekleşme olasılığını kestirebiliyorsa, aldıkları kararı risklere rağmen aldıklarının bilincindedirler (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

Risk, olasılık hesaplamalarında kendisine ait bir yere sahiptir ve uygun niceliksel bir ifadeyle belirtilebilir. Risk, bir ve sıfır arasında ([0,1] aralığı) değişen sayısal değerlerle ifade edilebilir. (1), %100 risk gerçekleşme olasılığını, (0) ise %100 risk gerçekleşmeme olasılığını gösterir. Riske sayısal bir değer verilemediği durumlarda “yüksek”, “düşük”, “kabul edilebilir”, “ihmal edilebilecek kadar düşük” gibi bulanık sözcüklerle tanımlanmaya çalışılır. Tüm insan etkinlikleri az ya da çok risk taşır. Bazı durumlarda riskin ölçülebilmesi mümkündür, ancak bir etkinliğin tamamen risksiz, yani sıfır riskli ve kesinlikle güvenli olduğunu belirlemek olanaksızdır, hatta her durum için çok küçük de olsa sıfırdan büyük bir risk gerçekleşme olasılığı bulunduğu, sıfır olasılığın sadece teorik bir değer olduğu söylenebilir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

TSE ISO 31000 standardına göre iş sağlığı ve güvenliğini ilgilendiren tehlikelerin belirlenmesi, risklerin değerlendirilmesi ile gereken kontrol önlemlerinin tanımlanması için madende; ölüme, hastalığa, yaralanmaya, hasara veya diğer kayıplara sebebiyet verebilecek tüm istenmeyen olaylar tanımlanmalıdır (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

Maden işletmelerinde risk değerlendirmesi ekibi oluşturulmalıdır. Bu kapsamda İş Sağlığı ve

Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği'nin 6. maddesine göre risk değerlendirmesi, işverenin oluşturduğu bir ekip tarafından gerçekleştirilir. Risk değerlendirmesi ekibi aşağıdaki kişilerden oluşur:

- İşveren veya işveren vekili;
- İşyerinde sağlık ve güvenlik hizmetini yürüten iş güvenliği uzmanları ile işyeri hekimleri;
- İşyerindeki çalışan temsilcileri;
- İşyerindeki destek elemanları; ve
- İşyerindeki bütün birimleri temsil edecek şekilde belirlenen ve işyerinde yürütülen çalışmalar, mevcut veya muhtemel tehlike kaynakları ile riskler konusunda bilgi sahibi çalışanlar.

İşveren, ihtiyaç duyulduğunda bu ekibe destek olmak üzere işyeri dışındaki kişi ve kuruluşlardan hizmet alabilir.

Risk değerlendirmesi çalışmalarının koordinasyonu işveren veya işveren tarafından ekip içinden görevlendirilen bir kişi tarafından da sağlanabilir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

### i) Risklerin Analiz Edilmesi

Maden işletmesinde tespit edilen her tehlikeden doğabilecek risklerin tahmin edilerek analiz edilmesidir. İşyerinde tehlikeli durumların ortaya çıkma olasılığı ve ortaya çıktığında maruz kalınabilecek sonuçların belirlenmesini içerir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

### Risk Değerlendirmesi Yapılması

Maden işletmesi içerisinde olası riskler değerlendirilir, derecelendirilir ve gerekli önlemlerin alınması için gerekli prosedürler veya talimatlar oluşturulur. Risk önceliklendirme seviyelerinin, kriterleri önceden belirlenmiş kabul edilebilir risk seviyesi ile kıyaslaması yapılır. Kalan artık riskin kabul edilebilirliğinin değerlendirilmesi, ihtiyaç duyulan her ilave aksiyonun belirlenmesi ile riskin katlanılabilir bir seviyeye indirmeye yetip yetmeyeceğinin değerlendirilmesi yapılır (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

### ii) Kontrol Tedbirlerinin Tespit Edilmesi

Kuruluştaki tespit edilen tehlike ve risklerle ilgili alınacak önlemler üzerinde beyin fırtınası yapılır. Risk değerlendirme ekibi tarafından risklerin ortadan kaldırılması, ölüm ya da yaralanma ihtimalinin ortadan kaldırılması veya ekipman/

teçhizat hasarının şiddet derecesinin azaltılması ya da tehlikenin transfer edilebilmesinin maliyeti ve yapılabirliği analiz edilir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

### iii) Kontrol Tedbirlerinin Yerine Getirilmesi

Kontrol tedbirleri yerine getirilirken maden işletmesinde risk değerlendirmesi ile ilgili sorumlular tarafından tehlikelerin bertaraf edilmesi ve riskin tamamen ortadan kaldırılması hedeflenmelidir. Ancak risk değerlendirmesinde tespit edilen tehlikeler ortadan kaldırılamıyorsa azaltılmaya çalışılmalı ve riskin azaltılması için kişisel koruyucu donanımın kullanılmasına mutlak suretle son seçenek olarak başvurulmalıdır. Risklerin bertarafı için risk hiyerarşisi mevcuttur, buna göre risklerin ortaya çıkma ihtimalinin ortadan kaldırılması ilk seçenek olmalıdır. Şayet ilk seçenek mümkün değil ise azaltılması ve son olarak hasarın potansiyel şiddet derecesinin azaltılması sırası takip edilmelidir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

### iv) Takip/İzleme ve Gözden Geçirme Süreci

Yukarıda sayılan süreçlerin ardından; riski ortadan kaldırmaya/azaltmaya yönelik gerekli faaliyetin zamanında tanımlanıp uygulandıktan sonra takip edilmesi ve gözden geçirilmesi gerekir. Maden işletmesinde risklerin bertarafı için alınan önlemler sonucunda risk kontrol süreçlerinde de değişiklikler olabileceğinden azaltılan risklerin yeni durumlarını belirlemek amacıyla risk değerlendirmeleri yeniden yapılabilir (Özdilek İslamoğlu, 2005).

## 5.3. Risk Değerlendirme Metodolojileri

Risk değerlendirmesi tarif edilmek istenirse şu şekilde tarif edilebilir. İşletmede riskin büyüklüğünü hesaplama ve riskin katlanılabilir olup olmadığına karar verme, riskleri makul bir seviyeye indirebilmek için gerekli tedbirlerin belirlenmesi ve bu tedbirlerin hangilerinin öncelikle alınması gerektiğine karar verilmesi işlemidir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

Hem ülkemizde hem de dünyada uygulanmakta olan, risk değerlendirme yöntemlerinin birçok çeşidi bulunmaktadır. Risk değerlendirme yöntemleri ikiye ayrılmaktadır. Bu yöntemler "Kalitatif (Nitel)" veya "Kantitatif (Nicel)" yaklaşımlar olarak nitelenebilir. Söz konusu bu teknikler, geçmişte yaşanmış kazalar veya ortaya çıkan çeşitli gereksinimlerden yola çıkılarak geliştirilmiştir. Aşağıda belli başlı risk değerlendirme metodolojileri listelenmiştir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

- Birincil Tehlike Analizi (Preliminary Hazard Analysis – PHA)
- Kinney Risk Değerlendirme Tekniği (Mathematical Risk Evaluation Method)
- Zürih Tehlike Analizi Tekniği (Zurich Hazard Analysis)
- Makine Emniyeti Risk Değerlendirme Yöntemi (Machine Risk Assessment)
- Hata Türleri ve Etkileri Analizi Yöntemi (Failure Mode And Effects Analysis – FMEA)
- Güvenlik Fonksiyon Analizi (Safety Function Analysis)
- Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis – FTA)
- Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis – ETA)
- Tehlike ve İşletilebilirlik Çalışması Analizi (Hazard and Operability Studies – HAZOP)
- İş Güvenlik Analizi (Job Safety Analysis – JSA)
- Olursa Ne Olur? Tekniği (What If?)
- Birincil Risk Analizi Tekniği- (Preliminary Risk Analysis – PRA)
- Neden Sonuç Analizi (Cause- Consequence Analysis)
- İnsan Hata Tanımlaması (Human Error Identification – HEI)
- İnsan Güvenilirlik Değerlendirmesi Analizi (Human Reliability Assessment – HRA)
- İnsan Hata Oranı Tahmini Analizi (Technique for Human Reliability Analysis –THERP)
- Kavramsal Güvenilirlik ve Hata Analiz Yöntemi (Cognitive Reliability and Error Analysis Method – CREAM)
- Hiyerarşik Görev Analizi (Hierarchical Task Analysis)
- Sapma Analizi (Deviation Analysis)
- Yönetim Bakışı ve Risk Ağacı (Management Oversight and Risk Tree – MORT)
- Enerji Analizi (Energy Analysis)
- Bariyer Diyagramları (Barrier Diagram)
- Papyon (Bow Tie) Analizi (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005)

Tüm maden işyerlerine uyan tek bir risk analizi metodolojisinden söz edilemez. Her işletmenin çalışma şartlarına bağlı olarak farklı tehlikeleri ve riskleri mevcuttur. Kalitatif ve kantitatif risk değerlendirme teknikleri ortak özellikler içermelerine rağmen birbirlerine karşı alternatif olmayıp aksine birbirlerini tamamlayan niteliktedirler (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).

Risk değerlendirmesi gerçekleştirecek olan bir maden işyerinde, öncelikle ne tür bir risk değerlendirme tekniğinin uygulanması gerektiği tespit edilmelidir. Risk değerlendirmesi çalışması aşamasında **bu konuda uzmanlaşmış teknik bir ekip tarafından** işyerinde hangi tip risk değerlendirme metodlarının uygulanması gerektiğine karar verilir. Özellikle de proaktif tedbirlerin önlenmesi için Kök Neden Analizi olarak bilinen tekniklerin uygulanması da önem arz etmektedir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005).



Gerçek bir “İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetimi”, yalnızca üst yönetimin veya çalışanların sorumluluğunda olmayıp, organizasyon şemasında yer alan müdürlerin her birini, firma danışmanlarını, İş Sağlığı ve Güvenliği Profesyonelleri ile tüm çalışanları içine alan bir yapıyla sağlanabilir.



## 6. KÖK NEDEN ANALİZİ NEDİR ve NASIL YAPILMALIDIR

### 6.1. Kaza Oluşum Teorileri

Bir işletmede ölüm, yaralanma veya maddi hasarla sonuçlanan bir olay; kaza olarak tanımlanabilir veya önceden bilinmeyen istem dışı bir olay sonrası meydana gelen kontrol dışı ortaya çıkan ve çalışanın bedensel ve ruhsal bütünlüğüne zarar verebilecek ya da maddi hasara neden olabilecek nitelikteki olaylardır. Literatürde kaza oluşum teorileri için çeşitli teoriler verilmiştir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005):

i) Tek Etken Teorisi: Söz konusu teori bir işyerinde meydana gelebilecek bir kazanın tek bir etken nedeni ile ortaya çıkabileceğini iddia eden görüşten doğmuştur. Şayet bu tek etken tanımlanabilir veya yok edilebilir ise kaza tekrar meydana gelmeyecektir. Bu teori genellikle iş sağlığı ve güvenliği eğitimi almış uzmanlarca kabul görmemektedir.

ii) Enerji Ortaya Çıkması Sonucu Kaza Oluşumu Teorisi: William Haddon adlı bir uzman tarafından gündeme getirilmiştir. Bu teoride iş kazası bir enerjinin ortaya çıkması ve sonrasında transfer edilmesi sonucu meydana gelir. Bu enerji transferinin oranı büyükse, ortaya çıkacak yaralanma, ölüm veya teçhizat veya ekipman hasarı yüksektir. Tehlikelerin tanınmasında bu kavram dar kapsamlıdır ve tek etken teorisine oldukça benzemektedir.

iii) İnsan Kaynaklı Kaza Oluşum Teorisi: Bu teoride iş kazaları insan kaynaklı hatalar nedeni ile ortaya çıkar. Olaylar zincirleme şekilde ortaya çıkan personel hatası ile oluşur. Bu zincirleme nedenlere örnek verecek olursak; “aşırı iş yükü taşıma”, “uygun olmayan eylemde bulunma” ve “yerinde olmayan eylemler gerçekleştirme” vb.

İnsan kaynaklı kaza teoremi, kaza sebeplerini üç kategori içerisinde gruplar:

- Kaza yapmaya yatkın olmak,
- Çalışanın kabiliyetlerine veya ergonomisine uygun olmayan işlerin verilmiş olması,
- Psikososyal veya çevresel kaynaklı problemler.

İş kazalarının insan hatasından kaynaklı oluşması birçok faktöre bağlıdır. Şüphesiz ki, kaza yapan çalışanın yeterli eğitime tabi tutulmaması, işe uygun olmadan çalıştırılması, verilen iş ile veya arkadaşlarıyla uyumsuzluğu, eğitim ve bilgi açısından eksik olması, tecrübesiz oluşu, yorgunluğu, psikolojik olarak veya çevresel etki nedeni ile işe kendisini verememesi, hastalıkları vb. nedenler ile işyeri kurallarına uymaması insan faktörüne bağlı temel sebepler olarak sayılabilir.



Kazaların insan hatalarından kaynaklanması birçok faktöre dayanır. Kazaların araştırılması için yıllar içerisinde birçok teorem ortaya çıkmış ve bu teoremler kapsamında kazalar incelenmiştir.

iv) İş Kazasında Olay Teorisi: Bu teori, insan etkenleri teorisinin daha genişletilmiş bir versiyonudur. Bir önceki kuramda sayılan etkenler bu teorem içinde geçerlidir. Bu etkenlere ilave olarak ergonomik uygunsuzlukları, uygun olmayan karar alma ve psikolojik etmenli hataları içerir.

v) Sistem Kaynaklı Kaza Oluşum Teorisi: Bu teoride bir iş kazasının oluşabileceği herhangi bir olayı, “İnsan”, “Makine” ve “Çevre” olmak üzere toplam üç grup içinde değerlendirir.

vi) Kombine Olmuş Birden Fazla Etken Kaynaklı Kaza Teorisi: Söz konusu teoride bir tek etkenin tek başına bütün olayları ortaya çıkaramayacağı anlayışına dayanır. Bu kuramda iş kazalarının gerçek nedeni ancak ve ancak iki veya daha fazla etkenin kombinasyonu veya bileşimi ya da art arda gelmesi ile ortaya çıkabilir.

vii) Epidemiyoloji Kaynaklı Kaza Oluşum Teorisi: Bu teoride çevre faktörleri nedeni ile kazalanma veya yaralanma veya meslek hastalığı oluşur. Ayrıca kazalanma ile çevre faktörlerinin birbiri ile ilişkili olduğunu ileri sürer.

viii) Çok Etken Kaynaklı Kaza Oluşum Teorisi: Bu teoride iş kazası birçok etken veya kök neden kaynaklı ortaya çıkar. Bu teorem deneyim sahibi iş sağlığı ve güvenliği uzmanları tarafından da en çok kabul edilen teoridir. İş kazalarının birden fazla nedene sahip olduğu ve bu nedenlerin de birden fazla alt neden kaynaklı uygulama hataları, standart dışı hareketler vb. hatalar zinciri sonucu meydana geldiği kabul edilir.

ix) Domino Etkisi Kaza Oluşum Teorisi: Domino etkisi teorisinde iş kazaları beş domino taşının birbirine değerek düşmesine benzetilerek tanımlanmaktadır. Her iş kazası beş farklı nedenin arka arkaya gerçekleşmesi ve birbirini tetiklemesi sonucu ortaya çıkar, bu teoriye “İş Kazası Zinciri” de denmektedir. (Şekil 6.1 ve 6.2).

Söz konusu domino taşlarından biri diğerine değmez ise bir sonraki olay gerçekleşmez ve dominolar birbirini devirmez ise olayın meydana gelmesi mümkün değildir.



Şekil 6.1 Domino etkisi.



Şekil 6.2 Domino etkisinde takip eden hata kuramı.

İş kazalarının meydana gelmesinde insan kaynaklı uygun olmayan hareketler ile uygun olmayan koşullar ve durumların bir birini tetiklemesi ile birlikte olayın meydana geldiği iddia edilmektedir. Domino teorisine karşı iş güvenliği kavramı cevap olarak, iş kazalarının, bu olumsuzluk ve eksiklikleri bünyesinde taşıdığını ancak önlenebileceğini ifade eder (Özdilek İslamoğlu, 2005).

## 6.2. Problem Çözme Teknikleri ve Kök Neden Analiz Yöntemleri

İş sağlığı ve güvenliğinin geçmişten itibaren tek hedefi bulunmaktadır, o da işyerlerinde çalışan personelin iş kazalarından ve meslek hastalıklarından korumasını sağlamaktır. İstenmeyen olayların ve kazaların yaşanmaması ve tekrarlanmaması için

kök nedenlerin belirlenerek ortadan kaldırılması gereklidir. İş kazalarının sistematik araştırma ilkeleri ile araştırılarak kök nedenlerin belirlenmesi, kök nedenlerin tekrar ortaya çıkmaması için alınması gerekli tedbirlerin tespit edilmesi ile uygulanması, izleme, değerlendirme ve önlem alma süreçlerinin işlenmesi zorunludur (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2014).

Kök neden analizlerinin tamamı için meydana gelen olayın hikayeleştirilmesi ve aşama aşama hangi tür kontrol kayıpları yaşandığının tanımlanması büyük önem arz etmektedir. Kaza incelemesi yapan bir uzmanın, öncelikle olayı analiz edebilmesi için kazaya neden olan adımları/aşamaları ortaya çıkarabilmesi gereklidir.

Hata, kısaca bir sistemde normal şartlar altında gerçekleşmesi gereken normal koşullardan sapma olarak tanımlanır. Bir sistem veya proses için hata ise görevini yerine getirememesi durumu olarak ifade edilebilir. Bu iki tanıma göre daha geniş bir ifadeyle hata "görevini yerine getirme kabiliyetindeki kayıp" olarak ifade edilebilir. 1983'de ISO tarafından STD 729 numaralı yayına göre hata tanımı şu şekilde ifade edilebilir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2014):

- Bir sistemde görevini yerine getirmek için kabiliyetini kaybetme,
- Dizayn aşamasında belirlenmiş limitler dahilinde görevini yerine getirme aşamasında sistem veya proses alt sistemlerin yeterli seviyede olmaması,
- Yazılımsal, sistemsel veya organizasyonel gerekliliklerden sistemin sapması şeklindedir.

"Kaza nedir?" sorusunun cevabını şahısların yaralanması, ölmesi ya da mal hasarı veya çevre etkisi ile sonuçlanan planlanmamış olaylar olarak verebiliriz. Bir kaza sonrasında araştırma yapıldığında ve olayın nasıl meydana geldiği sorulduğunda "birdenbire oldu!" cevabı ile sıkça karşılaşabiliriz. Ancak hiçbir olay birdenbire gerçekleşmez. Aslında "birdenbire meydana geldiği" iddia edilen her oluşumu hazırlayan kök sebepler vardır.

Peki bu kök sebeplerin ne olduklarını bulmak için neler yapılması gerekmektedir? Sadece olay meydana geldikten sonra, yalnızca bu olayı meydana getiren yanlışların ve hataların ne olduğunu fark edip bunları düzeltmeye çalışmak yeterli midir?

Elbetteki bu çaba yeterli değildir; kaza habercisi olaylardan en basitinin bile incelenmesi sonucunda daha büyük zarar meydana getirebilecek bir kazanın önüne geçmek mümkün olabilmektedir. Bir işletmede kaza araştırmaları sadece insan yaralanması, uzuv kaybı, yangın, patlama, büyük hasar getiren bir olay ya da çevre felaketi sonrasında yapılmamalıdır.

Aksi takdirde iş güvenliğini şu anki proaktif bakış açısına göre değil reaktif bir uygulama yapmış oluruz. Önemli olan bir maden veya işletmedeki iş sağlığı ve güvenliği biriminin kendi işyerlerinde meydana gelen her ramak kala olayı ile kaza, yaralanma, hasarlanma, üretim kaybına yol açmayan, şans eseri kötü sonuçlanmayan, istenmeyen, planlanmamış olayların (zararsız atlatılmış tehlike) araştırmasını yapmasıdır.

Özellikle iş kazası için araştırma yapılması, bu sorunların nasıl ve neden meydana geldiğini ve mekanizmalarını çözmek için büyük önem taşımaktadır. İş kazası incelemesinden elde edilen bilgi ve veriler kullanılarak, benzer ya da daha büyük bir hasarlanma veya yaralanma ya da ölümle sonuçlanabilecek kazalar önlenilebilir. Birçok iş kazası genellikle çok karmaşık bir yapıya sahip olabilmektedir. Buna rağmen meydana gelen iş kazalarının büyük bir bölümü de bir veya daha fazla kök nedenin ortadan kaldırılması durumunda önlenilebilir kazalardır (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2014).

Yıllarca yapılan çalışmalar sonucunda aynı tipteki kazaların yinelenmesi ya da bunların ortak nedenler göstermesi, özel kaza inceleme tekniklerinin gerekli olduğunu ortaya koymuştur. Bu yöntemlerden en çok bilineni ve en yaygın olarak kullanılanı ise "Domino Etkisi Kuramı"dır. Bu bölümde domino etkisi kuramı kullanılarak bir kazanın araştırılmasının nasıl yapılabileceği ve sonrasında da kuramın nasıl kullanılacağı hakkında örnek verilecektir.

Hataların sebeplerinin belirlenmesi ve bu hataları ortaya çıkaran kök nedenlerin belirlenmesinde kullanılan birçok uluslararası teknik bulunmaktadır. Bunlardan en çok tanınan ve etkili olduğu düşünülen teknikler aşağıda verilmiştir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2014):

- Balık Kılıcı Diyagramı (Ishikawa Diagram, Fishbone),
- 5N ve 1K Analizi,
- Papyon Analizi (Bow Tie Analysis),
- Neden ve Sonuç Analizi (Cause & Effect Analysis),
- Güvenlik Fonksiyonu Analizi /Bariyer Analizi (Safety Barrier Analysis),
- Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis), ve
- Olay Ağacı Analizi (Event Tree Analysis)

Yukarıda sayılan yöntemlerden özellikle 5N ve 1K ile Balık Kılıcı analizleri oldukça basit yapıda ve her kaza incelemesinde kullanılabilir tekniklerdir. Bu yöntemlerin uygulanması için yüksek bilgi ve eğitim gerekmemektedir.

Ancak detaylı analiz teknikleri olmamaları, özellikle de istatistik ve olasılık modellerini kullanmamaları nedeni ile saklı/gizli kök nedenler ile baskın hata (tekrarlanan) kök nedenlerini kaçırma ihtimali bulunmaktadır. Karmaşık olmayan ve kök nedenleri açıkça gözükken kazalar için tercih edilmelidir.

Papyon Analizi, Bariyer Analizi, Güvenlik Fonksiyonu Analizi vb. risk değerlendirme teknikleri ise orta zorlukta yöntemlerdir. Kalitatif uygulanabildikleri gibi semi kantitatif olarak istatistik ve olasılık modellerini kullanarak da analiz yapılabilir.

Özellikle domino etkisi kuramı ile birlikte kullanılmak üzere geliştirilmiş tekniklerdir. İsviçre peyniri yöntemi olarak da adlandırılan ve birbiri ardına konmuş bariyer peynirlerde bir fare tarafından açılan delikler sonucu tüm bariyerlerin etkisiz olması mantığına dayanır. Yani tüm bariyerler domino etkisi sonucu arka arkaya devrilir. Tüm kaza incelemelerinde kullanılacak tekniklerdir. Bu yöntemlerin uygulanması için orta düzeyde bilgi ve eğitim gerekmektedir.

Hata Ağacı Analizi ile Olay Ağacı Analizinin uygulanması ise oldukça detaylı ve tekniktir. Her kaza için uygulaması zordur ve zaman alıcıdır. Detaylı analiz teknikleri olmaları, özellikle de istatistik ve olasılık modellerini kullanmaları nedeni ile saklı/gizli kök nedenler ile baskın hata (tekrarlanan) kök nedenleri kaçırma ihtimalini ortadan kaldıran tekniklerdir. Karmaşık, girift ve kök nedenleri açıkça gözükmeyen kazalar için tercih edilmelidir.

### 6.3. Kök Neden Analizinin Yapılması

Kök Neden Analizleri (Root-Cause Analyses), bir iş kazasının nasıl ortaya çıktığını ve kazaya ilişkin süreci anlamak, iş kazasından çıkarım sağlamak, süreçleri planlayarak uygulama yapılması, aynı veya benzer kazaların tekrar ortaya çıkmasının önlenmesi için yapılmaktadır. Meydana gelen iş kazalarının görünen ya da görülemeyen nedenleri mevcuttur. Bir kaza sonrasında kök neden analizi yapabilmek için normal şartlarda çalışma şartlarından neyin saptığının belirlenmesi gereklidir. Tüm kök neden analizlerinin ilk aşaması "Sapma Analizi"dir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

Sapma analizi olarak bilinen bu teknik, iş kazalarını meydana getiren nedenlerin altında yatan problemlerin belirlenmesi ve bu nedenlerin giderilebilmesi için "Kök Neden Analizleri"

yapılabilmesine olanak tanır. Sapma analizinde iş kazasına hangi nedenlerin sebep olduğu belirlenmeye çalışılır. Ramak kala olayların da aynı sapma analizi yöntemi kullanılarak araştırılabilir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

Bir iş kazasının baştan sona analiz edilerek araştırılması ve bu iş kazasının tekrar meydana gelmemesi için alınması gereken adımlar ile sapma analizinin aşamaları Şekil 6.3'te verilmiştir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).



Şekil 6.3 Sapma analizi süreci

#### Hazırlan:

Bir risk değerlendirme ekibinin oluşturulması ile tanımlanan sapmaların değerlendirilmesi ve önlemlerle ilgili beyin fırtınası yapılması yararlı olacaktır. İş kazası ile ilgili ön araştırma yapılması gereklidir. İkinci adımda ise araştırma ekibi ön inceleme sonrasında hangi durumlar üzerine çalışması gerektiğine karar verebilir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

- İş kazası ile ilgili doğru ve taze bilgileri almak için kaza yeri haber alınır alınmaz incelenmelidir,
- Maden sahasının güvenlik altına alınması ve eğer bir tehlike yaratmıyorsa, iş kazası meydana gelen bölgenin bozulmamasına dikkat edilmelidir,
- İş kazası meydana gelen olay yerinin krokisi, taslak, video ve fotoğraflarının alınması her birinin doğru olarak işaretlenmesi ve kayıtlarının düzgün tutulması gereklidir,
- İş kazası meydana gelmeden önce ve kaza meydana geldikten sonra kaza yerinde bulunanlar, iş kazasından hemen sonra

olay yerine gelenler ve kazaya maruz kalan kazazedeler ile görüşülmesi önemlidir,

- Her görüşme kaydının doğru ve tam olarak tutulması ve ifadesi alınanlar tarafından kabul edilmesi koşuluyla kayıt alınması sağlanabilir.

### **1. Kaza Sonuçlarının Özetlenmesi**

Kaza sonuçlarının özetlenmesi ön tetkik neticesinde elde edilen veriler kullanılarak yapılabilir. Başlangıç noktası kaza olayıdır. Daha sonra aynen bir filmi geriye sararmış gibi geriye gidilir. Meydana gelmiş sapmalar listelenir ve iş kazası gelişiminin aşamaları sıralanırken aşağıda verilen soruların sorulması yardımcı olabilir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018):

- Kazaya sebep olan başlangıç ve devamındaki aşamalar kronolojik olarak sıralanır ve detaylandırılır.
- “Ne olması gerekirken ne oldu?” sorusuna cevap aranır (Ne, Nerede, Ne zaman, Ne zamana kadar?).
- Neyin etkilenip, neyin etkilenmediği belirlenmeye çalışılır.

### **2. Sapmaların Belirlenmesi**

Sapmaların belirlenmesi adımı sapmaların listelenmesini kapsamaktadır. Uygulamada olayın meydana gelmesindeki adımlar analiz edilerek geriye doğru gidilir ve kaza olmadan önceki duruma ulaşıncaya dek sürdürülür. Elde edilen veriler ışığında kazazede ve ifadesi alınan kişilerle, amirlerle vb. kişilerle yapılacak görüşmelerden elde edilebilir.

Kaza incelemesi aşamasında dinlenen kişilerden elde edilen bilgilerden daha önce saptanamayan hataların belirlenebilmesi için çaba gösterilmelidir. Daha önceden farkında olunan ya da tespit edilmiş olan sapmalar için daha detaylı verilerin elde edilmesi gerekebilir. Analize yardımcı olabilmek için uzmanlar tarafından önceden hazırlanmış kontrol listeleri kullanılabilir. Bu kontrol listeleri görüşmelerde kullanılmak üzere araştırmayı yapacak kişi tarafından olaya özgü olarak yeniden düzenlenebilir. Örneğin; aşağıdaki sorular yöneltilebilir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

- Hangi işlemler yürütülmekteydi?
- Olaya neden olabilecek proses, ekipman, prosedür, yöntem veya makine değişikliği yapılmış mıydı?
- İş kazasından önce normal koşullardan sapan neydi?

- Anormal durum nasıl ve nerede meydana geldi?
- İlk defa ilgili sapma ne zaman fark edildi? Ya da neden fark edilemedi?
- Nasıl ortaya çıktı?
- İş ekipmanı, teçhizat veya makine düzgün çalışıyor muydu? Hataya sebep olacak bir durum var mıydı?
- Kullanılan teçhizat, malzeme veya makine için alışılmışın dışında bir durum yaşanmış mıydı?
- İş ekipmanındaki veya makinedeki emniyet aksamı devre dışı bırakılmış mıydı?

Çalışan kaynaklı normal şartlardan sapmalar daha net şekilde ifade edilmelidir. Örneğin; aşağıda verilen sorular kaza incelemesi yapan kişi tarafından sorulabilir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018):

- Kilit konumdaki çalışanlar neredeydi? Olaydan hemen önce ne yapmaktaydı?
- Üçüncü şahısların etkisi olmuş mu?
- Olayla ilgili hangi talimatlar verilmişti?
- İş için gerekli adımlar veya eylemler olması gerektiği şekilde mi yapılıyordu?
- Kaza anında yapılan iş, kim ya da kimler tarafından planlandı?
- Kişisel koruyucu donanım kullanılması gerekli iken kullanılmamış mı?
- Kaza anında herhangi bir yanlış anlaşılma gibi bir durum söz konusu olmuş olabilir mi?
- Çalışanda psikolojik veya çevresel etkenler nedeni ile yorgunluk, stres, ergonomik problemler olmuş olabilir mi? Ya da personele yetersiz eğitim veya bilgilendirme yapılması kazanın oluşumunda etkili olmuş mu?

Kaza incelemesi ile ilgili soruların detaylı olması gerekir ancak bu türden detaylandırılmış soruların sorulmamış olması, kaza inceleme araştırmasının yeterli olmadığı anlamına gelmez. Kontrol listelerinin kullanılması kazayı inceleyen araştırmacının işini kolaylaştırır, ancak söz konusu sorular herhangi bir kişiyi suçlayacak şekilde olmamalıdır. Örneğin, aşağıda verilen soru tiplerine benzer sorular hazırlanabilir:

- Üretim/bakım/planlama yeterli midir?
- Üretim/bakım/planlama prosedürleri takip edilmiş midir?
- İş kazası geçiren personelin görev tanımları yeterli midir?
- Herhangi bir iş ekipmanının problemleri veya hatalı olup olmadığını tespit için:

- » Bu hata neden daha önceden belirlenemedi?
- » İş ekipmanı, teçhizat, makinedeki parça yeterli bakım veya onarım programına tabi tutulmamış mıdır?

### 3. Sapmaların Değerlendirilmesi

Üçüncü adımda ise, sapmaların değerlendirilmesi yapılmalıdır. Kontrol tedbirleri belirlenmek üzere kök nedenler tespit edilerek sapmalar analiz edilir. Sapmaların değerlendirilmesinde aşağıdaki adımlar izlenir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018):

- Problem olarak görülen kök nedenleri ve sapmaları sırala,
- Yasal mevzuat veya işyeri yönergeleri kapsamında olan sapmaları sırala,
- Kök neden analizi yapılacak yöntemi seç,
- Seçilen kök neden analizini uygula.

Kök neden analizini gerçekleştirmek maksadı ile tek bir yöntem veya teknik mevcut değildir ve uygunsuzluğa neden olan faktörlerin tanımlanmasına yönelik birçok teknik yayınlanmıştır. Kök neden analizinde yöntem seçimi de önem arz etmektedir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018). Özellikle kaza

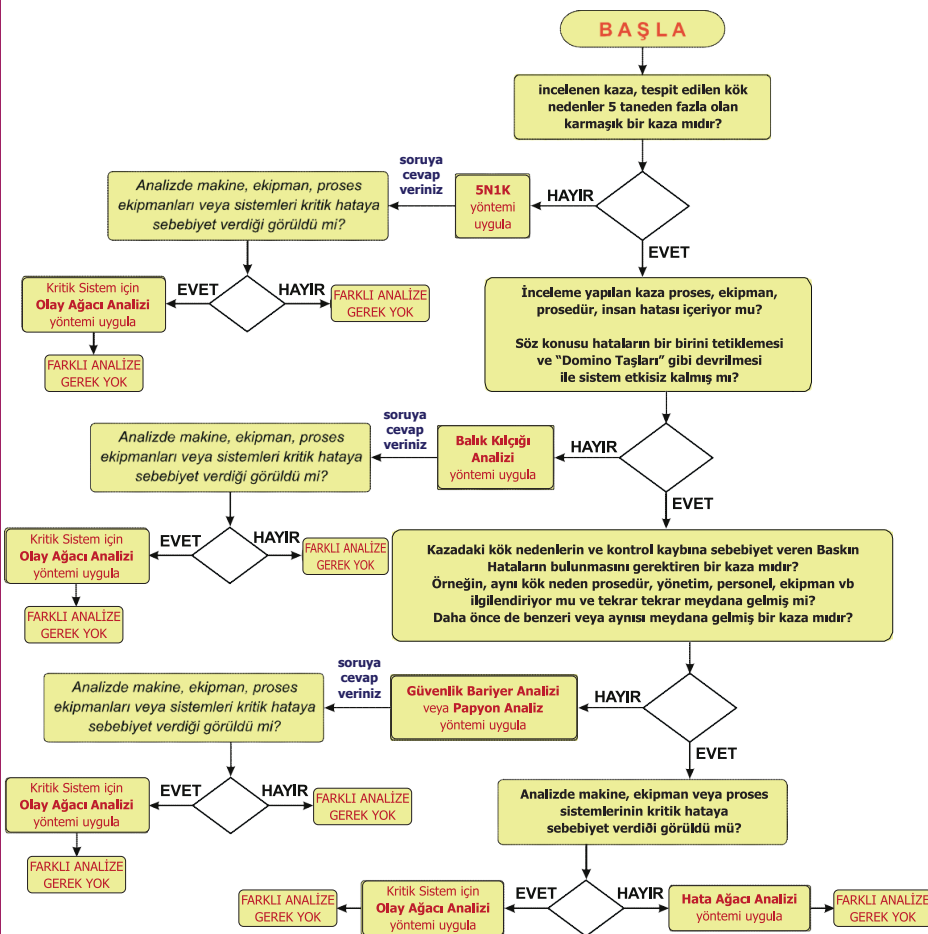
incelemelerinde uygun kök neden analizi tekniğini seçmek, hem zaman kaybını önler hem de daha ayrıntılı ve net analiz yapılmasının önünü açar.

Bu durumda yaşanan kazalar için kök neden analizi yol haritası Şekil 6.4'te verilmiştir.

### 4. Güvenlik Önlemlerinin Önerilmesi

Meydana gelen iş kazaları ile ilgili tespit edilen normal şartlardan sapmalara yönelik kontrol önlemlerini belirlemek için beyin fırtınası yürütülür. Önlemler, "Kök Neden Analizi" yöntemleri uygulanırken belirlenir. Tespit edilen ekipman, makine, iş ekipmanı vb. ve çalışan kaynaklı hataların önlenmesi ile işe başlamak ve daha sonra organizasyonel kaynaklı hataların, durumların ve rutinlerin iyileştirilmesiyle ilgilenmek genellikle en iyi yöntem olarak kabul edilir. Başlangıçta beyin fırtınası yapılırken araştırma yapan kişilerin serbest düşünme yapmasına izin verilmelidir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

Daha sonraki adımda ise, güvenlik önlemleri konusundaki fikirlerin değerlendirilmesi ve bunların somutlaştırılması gereklidir. Kontrol tedbirleri belirlenirken hali hazırda uygulanan kontrol önlemleri yerine yeni ve daha uygun kontrol önlemleri bulunmaya da çalışılmalıdır.



Şekil 6.4 Kök neden analizi için metod seçimi akım şeması

## **Sonlandırma;**

Bu adımda iş kazası araştırması, kontrol önlemleri için önerilerin özetlenmesi ile sağlanır. Sapma analizinin başlangıcından itibaren kaza araştırmasının amacı suçluları bulmak anlayışı olmamalıdır. Bunun yerine güvenlik tedbirlerinin artırılması amacıyla öneriler düşünülmeli gerekmektedir.

Bu aşamanın amacı; öncelikle görüşülen kişilere önerilerin anlatılması önemlidir. Bu; hem ifade verilmesi aşamasında konunun detayını genişletir hem de bilgi almayı daha verimli ve kolay hale getirir. Bazen tam olarak hatanın neden kaynaklı olduğunu ortaya çıkarmak mümkün olmayabilir. Olaylar, farklı sıralamada ve farklı olayların arka arkaya gelmesi ile meydana gelmiş olabilir. Ya da belli bir sapmanın gerçekten meydana gelip gelmediği belirsiz olabilir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

Kontrol önlemleri belirlenmeye çalışılırken bu belirsiz durumlar nedeni ile bir dezavantaj veya engellenme yaşanıldığı düşünülmemelidir. Bilakis, bu durum oldukça olumludur zira iş kazasının farklı şekillerde meydana gelebileceğinin göstergesidir. Bu durumda kaza meydana gelme ihtimallerinin tamamının değerlendirilmeye alınması ve belirlenen önlemlerin tamamının önerilmesi en iyi yöntem olacaktır.

### **• İş Kazası Araştırması Nasıl Olmalıdır?**

İş kazalarının araştırılması, maden işletmelerinde hangi tehlikelerin ve risklerin oluşmasına sebebiyet verebileceğini ve işyerinde normal şartlar altında yapılan eylemlerden veya süreçlerden sapmalar konusunda en iyi çözümlenmeyi sağlar. Hem akademik araştırmalar hem de pratik tecrübeler, madenlerdeki iş kazası incelemelerinin geliştirilebildiğini göstermektedir. İş kazası araştırması için birçok teknik mevcuttur. İş kazası analizlerinin tekniklerine göre kaza araştırılması farklılıklar gösterebilmektedir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

Maden işletmelerinde gerçekleşen bir iş kazasının detaylı bir şekilde incelenmesi, iş kazalarının tekrarının önlenmesi açısından önemlidir. Yaşanan kazaların görünen ya da görülemeyen nedenleri mevcuttur (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

Bir iş kazası incelemesi sırasında deliller birçok kaynaktan veya ifadeden, bilgiden, görüntü veya kayıttan toplanabilir. Gözlemlerden, kayıtlardan, görüntülerden, raporlardan vb. sağlanan bilgilere ek olarak şahitlerden de çeşitli veriler alınabilir. Bir iş kazasından sonra şahitlerle mümkün olan en kısa sürede görüşülmesi esastır. Olay mahali değişikliğe uğramadan mutlaka incelenmelidir. İş kazası olay mahalinin fotoğrafları mutlaka çekilmeli, kroki ve taslakları hazırlanmalı ve ilgili bütün veriler kroki üzerinde kaydedilmelidir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

Normal şartlardan sapan işletme prosedürleri ve talimatları, periyodik bakım raporları vb. içeren dokümanlar ya da aksayan durumları gösteren belgelerden yararlanılmalıdır.

Olay öncesi durumlarla iş kazasının meydana gelişi ve hemen sonrasındaki mevcut durumlar kaydedilmelidir. Buna ilave olarak iş kazasına uğrayan çalışanların bulunduğu alanlar, kazazede ve şahitlerin, ekipmanların, makinelerin, teçhizatların ve enerji kaynaklarının, yanıcı, parlayıcı veya tehlike içeren toksik vb. maddelerin yerleri işaretlenmelidir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

Şahitlerle şayet ön görüşmeler veya detaylı görüşmeler yapılacak ise bu konuda deneyim sahibi bir personel ya da uzman tarafından yürütülmelidir. İfade alımı esnasında araştırma ekibi şu hususları yerine getirmelidir:

- İncelemeye başlamadan önce mümkün ise kazanın meydana gelmesinden hemen sonra ve alanın güvenliği sağlandıktan sonra iş kazası yaşanan olay yerinde tespit ve gözlem yapılmalıdır. Olay mahalinde yapılacak olan gözlem ve tespit ne kadar geciktirilirse unutulmamalıdır ki deliller kasıtlı veya kasıtsız olarak ortadan kaldırılabilir, kaza gerçekleşen alan temizlenebilir veya değiştirilebilir.
- Olay mahalinde gerçekleştirilen tespit ve gözlemler tespit esnasında gecikmeksizin kaleme alınmalı ve tüm detaylar unutulmadan kayda alınmalıdır. Yapılan tespit ve gözlemler ile ilgili "Olay Mahali İnceleme ve Tespit Tutanağı" hazırlanmalıdır.

Kaza mahalinin inceleyen ekibin resim, fotoğraf veya video ile kayıt almalı, yine kaza mahalinde bulunan makine, kişisel koruyucu ekipman, teçhizat, düşen parçalar, kırılan veya parçalanmış malzemeler vb., kazazedenin ve olaya şahit olan veya sebep olan personelin yerleri krokiler çizilerek tespit edilmeli ve kazanın gelişimi krokilerle anlatılmalıdır (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

Mümkün olan yakın zamanda, iş kazası olay mahaline kazadan hemen önce ya da sonra gelen şahitlerin ön ifadeleri olayın ayrıntılarını unutmadan alınmalıdır. Unutulmamalıdır ki, şahitlerle görüşmek için uygun oda ve zaman ayarlanmalı, görüşme yapılırken de şahitlerle sakin ve düşük tonda bir ses tonu ile görüşülmelidir. Yine önemli bir husus şudur ki, şahitlerin olayı kazanın hemen ardından olayı çok yakından hatırlamaları daha kolaydır. Aradan zaman geçtikçe şahitlerin ayrıntıları hatırlaması zorlaşır veya hatırlamak istemediği için ayrıntıları istemsiz olarak unutulabilir ya da yanlış hatırlanabilir.

Zaman ilerledikçe dış etkiler veya çevredeki kişilerin karışması veya etki etmeleri nedeni ile şahitler detayları saklama ihtiyacı duyabilir, korkabilir ya da tehdit edilebilir veya bilerek değiştirebilir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

- Kaza araştırması gerçekleştiren kaza ekibinin, her şahidin rahat bir ortamda serbestçe konuşmasına izin verecek şekilde dinlemesi gerekir. Şahidin sözünün kesilmemesi ve olayı anlatması esnasında asla yargılamaması ve anlatım esnasında şahidi suçlamaması gereklidir. Elden geldiği kadar kazaya şahit olan kişinin acısı paylaşılmaya çalışılmalı ve kendisi anlayışla dinlenmeli ve ne çok neşeli de çok kederli bir tavır takılmamalıdır. İş kazası araştırması yapılmasının amacı unutulmamalıdır ki iş kazalarının önlenmesi olduğu kendisine açıklanmalı ve şahitlerin kendisini rahat hissetmesi sağlanmalıdır. Araştırma ekibi samimi tavırda olmalı ve şahitle asla münakaşa etmemelidir. Şahit tarafından kaza ile ilgili gözlemleri açıklamak üzere kullanılan sözcükler tam olarak anlaşılacak ve dinlenilerek kayıt edilmelidir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).
- İş kazası sırasında aynı zamanda yaralanan bir şahit unutulmamalıdır ki olayın şoku ile kazanın detayını hatırlamayabilir. Kaza mahali ile ilgili ifadesine başvuruda bulunulan bir şahit kaza ile ilgili peşin hükümlü ya da ön yargılı olabilir ya da tek taraflı şahitlik yapmak isteyebilir. Unutulmamalıdır ki, insanların görme veya işitme yetenekleri tepki süreleri farklı olabilir veya sağlık durumu, eğitimi, bilgisi gözlem yapma gücünü etkileyebilir. Gözlem yapma ile ilgili yeteneği veya olayların sıralaması ile ilgili durumun önemi kavranmadığından bazı olayları atlayabilir ya da hiç anlatmayabilir, bu nedenle ara ara sorularla şahide hatırlaması için yardım edilebilir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).
- Olaya tanık olan personele yardım etmek için, kaza mahaline ait çizim, vaziyet planı, akış diyagramı, fotoğraf, resim vb. kullanılmalıdır. Her tanığın durum ve konumu vaziyet planı üzerine işaretlenmelidir. Alınan notlar tanığın asla dikkatini dağıtmamalıdır. Ayrıca tanıktan KVKK kapsamında onay alınması durumunda ses kaydı alınabilir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).
- Tanığa sorulacak her soru çok dikkatli olarak sorulmalı, tanığın ilgili soruyu anladığından emin olunmalıdır. Her tanığa ifade alımı sonrasında kendi ifadesinin bir kopyası verilmesine dikkat edilmelidir ve ifadeler

imzalanmış olmalıdır (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

- Tüm tanıklarla görüşme yapıldıktan sonra, kaza araştırmasını yapan ekip tarafından her tanığın ifadesi dikkatle incelenmeli ve gerekli ise özetler çıkarılmalı, zamana bağlı akış diyagramları oluşturulmalıdır. Ana hatların açıklanması için bir ya da daha fazla tanık ile gerekirse yeniden görüşme yapılması gerekebilir.
- İş kazasının olay mahalinde uzak bir noktada bulunan bir tanık ile olay mahaline yakın noktada bulunan bir tanık tamamen farklı bir şekilde olayı tarif edebilirler. Tanıkların ifadelerinde bu tür tutarsızlıklar olduğu fark edilmesi durumunda eldeki kanıtların çizimleri, vaziyet planları ve işaretlemelerin, resimler, video çekimleri vb. kanıtlar ile bir mantık ve zaman sıralamasına göre birleştirilmeleri gerekmektedir. Bu veriler ışığı altında kaza yerinde elde edilen bilgiler analiz edilebilir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

İş kazası incelemeleri sadece kazanın nasıl gerçekleştiğine değil, esasen neden ve hangi aşamalar ile gerçekleştiğine karar vermek için yapılır. Bu incelemelerden çıkarılan bilgiler ışığında benzer şekilde meydana gelebilecek daha büyük felaketle sonuçlanabilecek iş kazalarının meydana gelmesinin önüne geçilebilir. Kazalar ile ilgili kök nedenlerin belirlenmesi ve bu kök nedenlerin “Kök Neden Analizleri” kullanılarak analiz edilmesi çok önemlidir. İş kazasının hangi tipte bir kaza olduğu da kaza araştırmacısı için önemlidir. Daha önce çok görülmemiş tipteki iş kazalarının tekrarlaması veya ortak kök nedenler göstermesi sonucu kazanın tekrarlamaması için özel tedbirler gerekebilir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

İş kazası incelemesinin amacı farklılık gösterebilir, ancak asıl amaç neyin hangi akış sırası ile meydana geldiğini ortaya çıkarmak olmalıdır. Başka bir ifade ile iş kazasının meydana gelme mekanizması, madendeki tehlike ve riskleri daha iyi anlamak olmalıdır, böylece kaza sonrası alınması gerekli önlemleri belirlemede yardımcı olacaktır. Tüm tecrübeler göstermiştir ki dünya da yapılan iş kazası incelemeleri karşılaştırıldığında, normal durumdan sapmalar üzerine dayanan iş kazası incelemelerinin çok daha fazla veri verdiği, önlem önerme konusunda başarılı olduğunu göstermektedir. Sapma analizi tekniğini, iş kazası incelemesinde kullanmanın yararları şu şekilde açıklanabilir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018):

- Maden işletmesinde meydana gelen iş kazalarında hangi tipte normal şartlardan sapmalar meydana geldiği konusunda veri elde edilir. Bu veri ile kazaya neden olan

sapmalar ortaya çıkarılır ve önem dereceleri analiz edilir.

- Kaza araştırması konusunda tecrübeli olan kişilerin geliştirdiği güvenlik analizi tablolarının kullanılması kaza araştırma yeteneklerini geliştirir.

#### **6.4. Önleyici Faaliyet, Telafi Edici Faaliyet ve Kök Neden Analizini Anlamak**

Kök neden analizini daha iyi tanımlayacak olursak gerçekleşmiş veya gerçekleşme ihtimali olan bir olayın, bir sorunun, endişenin ya da uygunsuz durumun ortaya çıkarılması için yürütülen araştırma ve problem çözme tekniğidir. Kök neden analizlerinin gerçekleştirilme amacı ise, kazayı araştıran teknik personelin olayın esas nedenlerine inebilmesine ve söz konusu durumu analiz ederek acil çözümler üretebilmesinin önünün açılmasının sağlanmasıdır. Bu şekilde benzer kazaların tekrarlanmasının önüne geçilebilir ve önleyici tedbirlerin belirlenmesi sağlanabilir.

Önleyici tedbirlerin belirlenmesi süreci, yetersiz prosedürler ile talimatlar ile noksanlıkların, ihlallerin veya ortamların, durumların tanımlanmasını ve yönetilmesini gerektirir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

Kesin çözüm sağlayan önleyici faaliyeti belirleyip uygulamak ve dolayısıyla uygunsuzluğun tekrar etmesini önlemek için konu ile ilgili temel nedenlerin anlaşılabilirliği önemlidir.

İş kazasının altında yatan kök neden tespit edildikten sonra ilgili sürecin bir sonraki aşaması ise söz konusu uygunsuzluğun tekrarlanmasını önlemek için bir faaliyet planının hazırlanmasıdır. Ancak faaliyet planı hazırlanırken faaliyetin tamamlanma süresi için bir zaman çizelgesi de hazırlanmalı ve sorumlulara atama da yapılmalıdır.

Kök neden analizinin en önemli aşaması gözlem veya verilerin doğruluk kontrolünü gerçekleştirmektir. Madende talimat, prosedür ya da süreçlerde bir değişiklik yapılacak ise kök neden analizleriyle, ilgili değişikliğin etkili olup olmayacağı da belirlenebilir (Özdilek İslamoğlu, Ö.,2018).

Bu adım için aşağıdaki hususlar mutlaka takip edilmelidir:

- Yeni teknolojiye yatırım,
- Değişimin Yönetimi (Management of Change) süreçlerinin düzgün yürütülmesi,
- Kök nedenlerin ortadan kaldırılması için yeni süreç, prosedür, eğitim, organizasyonel değişiklik önerilerinin yapılması,

- Kök nedenlerin ortadan kaldırılması için önerilmiş olan yeni süreci kapsayan iç denetimlerin gerçekleştirilmesi,
- Değiştirilen süreç sırasında kullanılan ekipman, iş akışı, uygulama vb. kontrollerin yapılması,
- Madende gerçekleşen değişiklikler ya da ilk defa gerçekleşecek faaliyetlerin yeterli ve etkili olduğu kanıtlandıktan sonra, izleme ve geliştirme faaliyeti kapsamında söz konusu değişikliğin gerekli olup olmadığının kontrolünün yapılması.

#### **6.5. Örnek Kaza İncelemesi (Domino Etkisi Kuramı)**

Domino etkisi kuramına göre örnek kaza incelemesi için Yeni Zelanda'nın Güney Adası'nda Papanoa sıradağlarında bulunan Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde 19 Kasım 2010 tarihinde meydana gelen metan patlaması seçilmiştir.

Pike River Yeraltı Kömür Madeni kazası, 1914'ten bu yana Yeni Zelanda'da meydana gelen ve Huntly'deki Ralph's Mine'da 43 kişinin öldüğü kazadan sonra en büyük maden felaketi olarak kabul edilmektedir.

Pike River Yeraltı Kömür Madeni kazasının bu rehberde domino etkisi incelemesi için seçilmesinin nedeni "Pike River Kömür Madeni Trajedisi Kraliyet Komisyonu"nun tüm taraflara açık ve en ince detaya kadar olay ayrıntılarının halk ve ilgili paydaşlarla paylaşılmış olmasıdır.

Kaza ile ilgili öncelikle bu bölümde domino etkisi incelemesi yapılacak daha sonra da kazanın Hata Ağacı Analizi ile Bölüm 8.5'de incelemesi yapılacaktır. Şekil 6.5'te madende yaşanan ana emici fanın patlama görüntüsü verilmiştir.



**Şekil 6.5** Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde fan bölümünde meydana gelen patlama.

Pike River Yeraltı Kömür Madeni Güney Adası'nın batı kıyısındaki engebeli Paparoa sıradağları'nın yükseklerinde yer almaktadır. İşletilmekte olan Brunner kömür damarına erişim karmaşık jeolojik fay yapılarını geçen 2.3 km'lik tek bir desandre yoluyla sağlanmaktadır.

19 Kasım 2010 Cuma günü saat 15:45'te madende bir patlama meydana gelmiştir. Patlama sırasında alt yüklenici personeli dahil toplam 31 maden çalışanı yeraltında bulunmaktaydı. Maden üretim faaliyetlerinden biraz daha uzakta bulunan taban taşı içinde sürülmüş galerideki iki çalışanı kaçmayı başarmıştır. Bu iki madenci madenden yürüyerek çıkmayı başarmış ve orta derece yaralanmalara maruz kalarak tedavi edilmiştir. Kalan 16 madenci ve 13 alt yüklenici çalışanın, ilk patlama sırasında madenin yeryüzünden giriş noktasından (desandre portalı) en az 1.5 km uzakta oldukları yetkililer tarafından düşünülmektedir.

24 Kasım Çarşamba günü meydana gelen ikinci patlama ise, içerde kalanların hayatta kalma umutlarını söndürmüştür. Takip eden günlerde 26 ve 28 Kasım 2010'da yaşanan müteakip patlamalar madene tekrar girmeyi güvensiz hale getirmiştir. Acil durum çalışmaları tamamen ocakta bulunan cansız bedenlerin çıkarılmasına dönüşmüştür. Sonraki dokuz gün boyunca ve maden kapatılmadan önce üç kez daha patlama yaşanmıştır. Mevcut durumda madene erişim imkânı kalmamıştır.

29 Kasım 2010'da Yeni Zelanda Başbakanı, hükümetin bir kraliyet komisyonu kurma niyetini açıklamıştır. Aralık 2010'da komisyonun görev tanımı belirlenmiş ve üç komisyon üyesinin atanması gerçekleştirilmiştir. Komisyondan ayrıca maden felaketlerinin önlenmesi, arama, kurtarma ve kurtarma operasyonlarının iyileştirilmesi, madencilik yasası ve uygulamasında gerekli değişiklikler ve yeniden açılması halinde Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nin nasıl güvenli hale getirileceği konusunda tavsiyelerde bulunması istenmiştir.

"Pike River Yeraltı Kömür Madeni Trajedisi Kraliyet Komisyonu" nun tüm taraflara açık raporunun incelemesine müteakip aşağıda olayın domino taşları çıkarılmıştır. Özellikle kök neden analizi yapacak uzmanların karmaşık ve birbirini domino eden unsurların varlığı durumunda kök neden analizine başlamadan önce "**Domino Etki Analizi**" yaparak kontrol kayıplarını değerlendirmesi ve sonrasında analize başlamaları kolaylık sağlayacaktır.

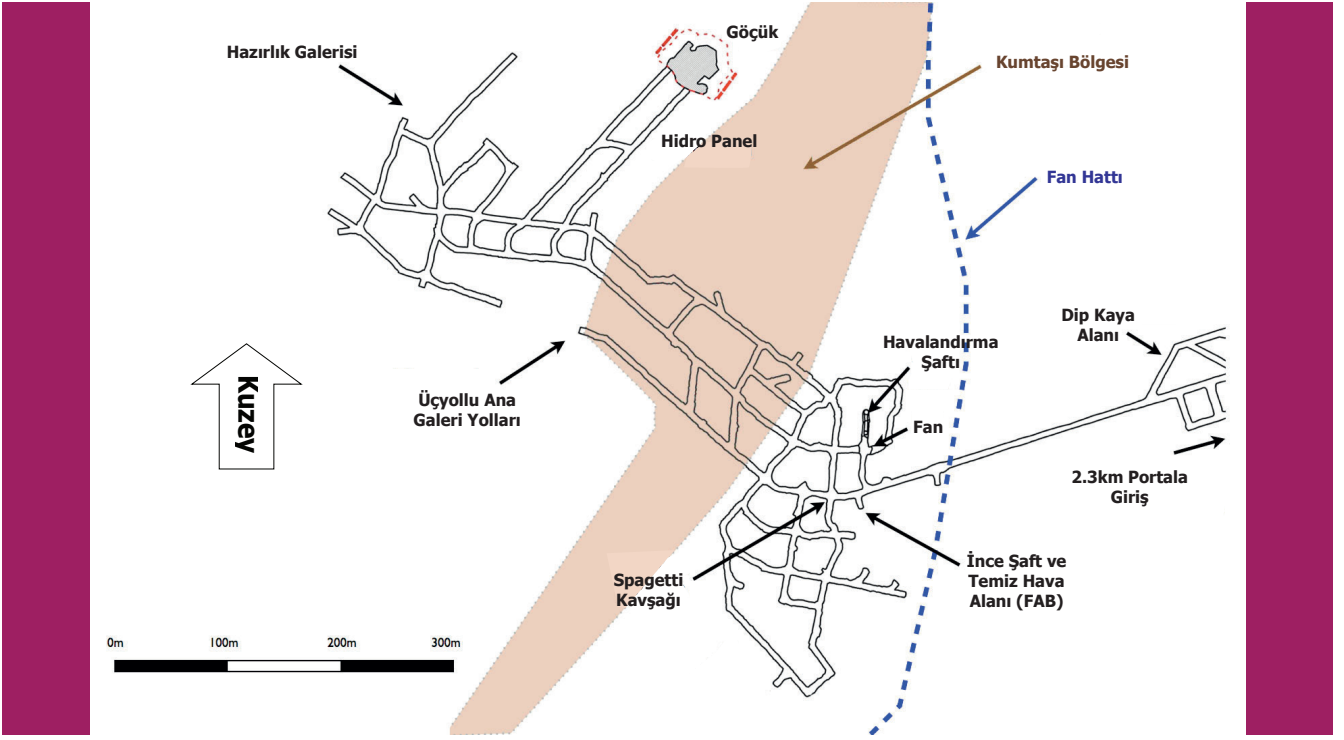
Bu sebeple söz konusu kazanın önce domino etkileri analizi yapılmış, sonrasında Bölüm 8.5'te ise bu domino taşlarına göre Hata Ağacı Analizi gerçekleştirilmiştir. Domino etkisi analizi tüm kök neden analizleri için bir ön hazırlık aracıdır. Bu analizin gerçekleştirilmesi tüm kök neden analizleri için kök nedenlerin daha rahat algılanmasını ve tespit edilmesini sağlar. Bu tip karmaşık olayları analiz etmek üzere Papyon Analizi, Sapma Analizi, Hata Ağacı Analizi, Olay Ağacı Analizi uygun yöntemlerin başında gelmektedir.

#### Olayın Kiriği:

Pike River Yeraltı Kömür Madeni, 1982 yılında kurulmuş ve 1998 yılında New Zealand Oil & Gas Ltd. (NZOG) tarafından satın alınmıştır. Maden, Greymouth'un 45 km kuzey doğusunda, engebeli Paparoa Sıradağları'nın doğu tarafında yer almaktadır. Kömür damarı, yüzeyden derinde ve esas olarak Paparoa Ulusal Parkı izdüşümünde bulunmaktadır. Damar, batıda dik bir yamaç ve doğu kesimindeki Hawera Fayı arasında doğuya eğimli bir görünüm arz etmektedir.

2005 yılında Pike River Yeraltı Kömür Madeni Yönetim Kurulu madenin hazırlık çalışmalarına devam etmesine karar vermiştir. Kömür damarının derinliği açık ocak madenciliği yapılmasına ekonomik olarak izin vermemesinden dolayı Pike River bir yeraltı kömür madeni olarak tasarlanmıştır.

Eylül 2006'da yeryüzünden erişim sağlayacak desandrenin sürülmesine başlanmış, ardından kömür damarının doğu tarafına erişmek için yine taban taşı içinde toplam 2.3 km'lik bir ilerleme yapılmıştır. Kasım 2008'de madenin resmi açılışı yapılmıştır. Galeri kömür damarına Hawera Fayı'nın batısında ulaşmış ve kömürün altında kalan ocak ana erişim hazırlık işlerine 2009 yılının başlarında başlamıştır. Kasım 2010'a kadar yeraltı hazırlık planı Şekil 6.6'da gösterildiği şekilde uygulanmıştır.



**Şekil 6.6** Kasım 2010 itibarıyla Pike River Yeraltı Kömür Madeni planı (Pike River Kömür Madeni Trajedisi Kraliyet Komisyonu Raporu, Ağustos 2021).

Ocağa ait Kasım 2010 planı incelendiğinde, ocakta bir tanesinin taban taşında ve diğerinin ise kömür seviyesinin altında olmak üzere iki ana hazırlık bölgesinin, üç ana galeri yolunun, bir hidro-madencilik üretim paneli ile beraber ocağın kuzeybatısında bir hazırlık bölgesinin yer aldığı gözlenmiştir. Spagetti Kavşağı adı verilen bölgenin ise yakınlarda yer alan iki maden kuyusu (ana havalandırma kuyusu ve güney kısımda temiz hava giriş kuyusu olan küçük çaplı kuyu) ile desandre ve kuyu insetlerinin kesişim noktasını teşkil ettiği görülmüştür. Pike River Yeraltı Kömür Madeni boyutları itibarıyla görece küçük bir madendi ve hazırlık çalışmalarının erken bir aşamasındaydı.

Kraliyet Soruşturma Komisyonu, madende özellikle havalandırma mühendisliği uygulamalarında, çalışma prosedürlerinde, risk yönetimi uygulamalarında ve idari karar alma süreçlerinde ciddi güvenlik eksiklikleri olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu geniş kapsamlı sistematik hatalar ve bunların temelinde yatan kurumsal ihmal, kamuoyunda rahatsızlık yaratmıştır. Çok sayıda eksiklik ve başarısız sonuçlara rağmen herhangi bir yönetici, idareci veya direktör hakkında mahkûmiyet kararı alınması mümkün olmamıştır. Bu felaket, Yeni Zelanda Ulusal Sağlık ve Güvenlik Mevzuatının tamamen yeniden gözden geçirilmesine yol açmış ve 2015 yılında yeni bir İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası'nın çıkarılması ile sonuçlanmıştır. Aşağıda

söz konusu komisyon raporuna göre aşama aşama domino etki analizi incelemesi verilmiştir.

## BİRİNCİ DOMİNO – Kazanın Altında Yatan Nedenler

**1. TEHDİT – ARAMA SONDAJLARI:** Pike River Yeraltı Kömür Madeni bölgesinin jeolojisi, kömür damarının yapısı ve geometrisi hakkındaki bilgi, önceden açılan 14 adet karotlu arama sondajı ve daha sonra bunlara ilave edilen benzer sayıdaki arama sondajından oluşan bir veri tabanına dayanıyordu. Bu veriler, maden hazırlık çalışmalarını beklenmedik şekilde sekteye uğratan olumsuz jeolojik koşulları belirlemede yetersiz kalmıştı.

**2. TEHDİT – UZUN VE ZORLU DESANDRE/GALERİ İMALATLARI:** Desandre ve ana hazırlık galerilerinin sürülmesi tahmin edilen sürelerden çok daha uzun sürmüştür. Gecikmeler, kömür damarı beklenirken bir graben yapısı içinde zayıf ezilmiş kumtaşı zonu ile karşılaşılmasından kaynaklanmış ve bu durum havalandırma bacası (temiz hava girişi) olarak kullanılacak desandrenin alt kesimlerinde göçüğe yol açmıştır. Bunun üzerine ana kuyu ile bağlantının kot olarak yaklaşık 50m daha yukarıdan bir geçiş (bypass) galerisi ile sağlanmasına karar verilmiş, ancak bu geçiş

galerisi havalandırma şebekesinin etkinliğini azaltacak olumsuz bir faktör oluşturmuştur.

- 3. TEHDİT – TOZ SORUNU VE TOZ BASTIRICI SİSTEMLERİN KURULMAMASI:** Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde kömür çıkarımı için mekanize kazı sistemleri yerine hidro madencilik adı verilen yüksek basınçlı su ile kazının sağlandığı bir metot adaptasyonu yapılmıştır. Bu nedenle ortamdaki kömür tozunun patlama olasılığı yönetim tarafından önemli risk olarak düşünülmemiştir. Mekanik kazının uygulandığı konvansiyonel kömür madenlerindeki olağan uygulama, ortamda risk yaratacak fazla kömür tozunun bertaraf edilmesi yönündedir. Bunlar kömür kazısında su spreyi şeklinde toz bastırma sistemleri, havalandırma parametrelerinin konsantrasyonu düşürecek şekilde ayarlanması, kömür yüzeylerinin yanıcı olmayan kireçtaşı tozu ile örtülmesi ve herhangi bir metan patlaması olayında toz patlaması olayının tetiklenmesini önlemek için nötrleştirme (inertization) etkisi yaratacak bu tür taş tozu ve su torbaları uygun şekil ve miktarda ocağa konulmasıdır. Taş tozu uygulamasının Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde yapılması gerekiyordu, ancak uygulama önerisi sunulmasına karşın pratik uygulama yapılmamıştır. Bu durum kaza öncesinde denetçi (maden müfettişi) tarafından bir sorun olarak değerlendirilmiş ve raporlanmıştır.
- 4. TEHDİT – PATLAYICI KARIŞIM (KÖMÜR- METAN):** Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde, büyük olasılıkla yanan kömürün tetiklediği gecikmeli ikincil, üçüncül metan ve/veya kömür tozu patlamaları meydana gelmiştir. Metan ve kömür tozu patlamalarını engellemek için taş tozu ve su torbaları bariyerleri (lokal bir patlama gerçekleştiğinde hava şoku etkisiyle bu bariyerlerdeki taş tozu torbaları patlamakta ve ortama yayılan yanıcı olmayan, nötr toz patlamanın önünü keserek başka bölgelere veya ocağın tamamına yayılmasını önlemektedir) uygulanmakta, fakat maalesef bunlar Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde kurulmamıştır.
- 5. TEHDİT – HAVALANDIRMA VE METAN DRENAJİ BORU HATTI:** Gazlı bir kömür ocağında güvenli çalışma koşulları sağlamak için etkin bir metan gazı yönetimi esastır. Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde, ocak havasındaki metan seviyesi, havalandırma ile konsantrasyonun düşürülmesi ve kömürdeki metanın bir miktarının ön drenaj

ile azaltılması şeklinde yönetilmekte, üretim faaliyetine geçilmeden önce kömür damarındaki metanın boşaltılması için yatay drenaj delikleri açılmaktaydı. Metan drenaj işlemleri kazadan birkaç yıl önce uygulanmaya başlanmıştı. Diğer yandan, madende aynı anda hem arama hem de üretim safhaları bir arada yürütülüyordu. Sonuç olarak, arama amaçlı açılan kuyular ile havalandırma için açılan deliklerin ve son noktada her ikisinin maden ulaşım yolları ile kesişmesi söz konusu olmuş, bu durum ocakta, kömür kazısından gelen metanın üzerine ilave bir metan katkısı daha getirmiştir. Metan drenaj sistemleri genellikle yetersiz kalmıştır ve yukarıda bahsedilen nedenden ötürü drenaj deliklerinin ulaşım galerilerine bağlantılandığı birçok durum söz konusu olmuştur. Bu sorun maden yönetimi tarafından bilinmekteydi, çünkü çalışanlar ve danışmanlar bunu bir eksiklik olarak tespit etmişti. Gaz drenaj sistemi kapasitesi sınırdıydı ve bu kapasite mevcut gaz gelirini kaldırarak yeterlikte değildi. Diğer taraftan ocağın jeolojik yapı içinde yer alan akifer sistemi ile kesiştiği bölgelerde etkin bir susuzlaştırma (deliklerle su drenajı) yapılması gerekiyordu ve bu drenaj işlemi hem akifer niteliğindeki çakıl, kum ve killerin kazılarda yıkanarak boşalmalar yaşanmasını engelliyor hem de kazının güvenli yapılmasını sağlıyordu. Ancak, susuzlaştırma işlemi, su drenajına metan gazı eşlik ettiğinden dikkatli bir şekilde uygulanması gerekiyordu. Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde susuzlaştırma gibi önemli bir ocak bakım işlemi güvenli şekilde yapılamıyordu. Ocağın bazı yerlerinde su drenajı deliklerinden gelen metan gazı ocak ortamına yayılıyordu. Gaz yönetimi konusundaki danışmanlar devreye girdi ve drenaj boru hattının acilen yenilenmesi gerektiği konusunda üst yönetim bilgilendirilmiştir. Geçici önlem olarak metan gazı çıkışları dönüş hava yoluna bağlanmıştır. Drenaj boru hattının iyileştirme çalışmaları beklemeye alınmış ve alınan büyük miktardaki metan gazının dönüş hava yolunda serbest bırakılması patlama olayı yaşanana kadar devam etmiştir. Gazın bu şekilde havalandırma dönüş yoluna verilmesi, modern yeraltı kömür madenlerinde artık normal bir uygulama olarak kabul edilmemektedir.

Kazanın yaşandığı gün bir galeride yapılan ilerleme sırasında önceden açılmış bir arama sondajı ile kesişme söz konusu olmuş ve ilerleme bu olay üzerine durdurulmuştur.

## 6. TEHDİT – HAVALANDIRMA FANLARI:

Havalandırma sistemi, madenin tamamındaki çalışma bölgelerine temiz hava sağlanması ve kirli dönüş havasının madenden dışarı alınması görevlerini yerine getirmelidir. Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde temiz hava girişi desandre ağzından (portal) sağlanmakta ve kirli dönüş havası da havalandırma kuyusundan yeryüzüne iletilmekteydi. Ana emici fan ve ocaktaki ilerlemeye göre yer değiştiren tali fanlar, hava akışını yönlendiren ve temiz-kirli havayı kısa devre olmadan birbirine karışmasını önleyen bir şekilde havalandırma otomasyon sistemi yardımıyla havayı ocakta dolaştırmaktaydı.

Orijinal ocak planında, dağın yamacında yer alan bir havalandırma kuyusunun yanında bulunan biri yedek olmak üzere iki ana fan gösterilmişti. Bu plan üzerinde daha sonra değişiklikler ile havalandırma kuyusunun tabanı yakınındaki inset bölgesindeki galeri içine yerleştirmeye karar vermiştir. Bu uygun olmayan değişiklik havalandırma mühendisliği bakımından riskli bir karar olmuştur. Buna ilaveten fanın alev sızdırmaz bir motora sahip olmaması ve gazlı kömür ortamı içine yerleştirilmiş olması, risk yönetimi açısından şaşırtıcıdır.

2007 yılında havalandırma kuyusunun yeri, Spagetti Kavşağı'nın kuzeyindeki nihai konumuna revize edildi. Gazlı bir kömür madeninde ana fanı yeraltına kurmak dünya da bir ilkti. Bu kararı alabilmek için yeterli bir risk değerlendirmesi yapılmamış ve yönetim kurulu tarafından yeterli uzman görüşü alınmamıştır. Bir havalandırma danışmanı ve bazı Pike River Yeraltı Kömür Madeni çalışanları öneriye karşı çıkmışlardır, ancak karar yine de gözden geçirilmemiştir. Fanı yeraltına yerleştirmek büyük bir hata olmuştur. Fan, en azından kısa vadede, madenin havalandırma kapasitesini önemli ölçüde artırmıştır.

Ancak kurulan havalandırma fanı patlayıcı ortama uygun (exproof) bir fan değildi, nitekim patlamada ana fan arızalanmıştır. Patlamanın oluşumu ile patlama etkisinin yeryüzüne ulaşması dikey havalandırma kuyusundan gerçekleşmiştir. Bu kuyu daha küçük bir kesit alanına sahip olsa da, yüzeyde bulunan diğer yedek fan donanımında da büyük hasara yol açmıştır. İkinci fandaki arızanın doğurduğu sonuçlar ağır olmuştur. Hayatta kalmış olabilecek çalışanların yaklaşık 100 metre uzunluğundaki dikey

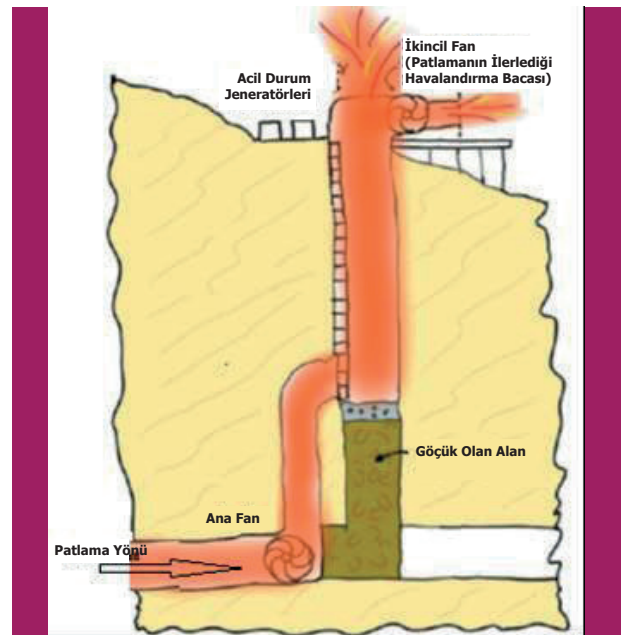
kaçış kuyusuna tırmanma olasılığı ve kaçış şansları, kuyunun yanan bir baca işlevi sergilemesinden dolayı kalmamıştır.

Dikey havalandırma kuyusunun taban bölgesinde imalat sırasında göçük yaşanmış ve bu bölgeden kurtulmak için kuyuda bir bypass tasarımına gidilmiştir (Şekil 6.7). Bu tasarım yaklaşımı da büyük bir hatadır. Havalandırma kuyusunun üç fonksiyonu vardır:

- Anafanın kirli hava emişini gerçekleştirdiği hava dönüş yolu
- İkincil (yedek) fan için kirli hava emiş yolu ve
- Madenden tek acil kaçış yolu

Gerçekte ise dikey kuyunun kaza anında düştüğü durum öngörülen işlevlerinden tamamen farklı olmuştur. Patlama sonucu ana fan hasar görerek devre dışı kalmış ve patlamanın etkisi ikincil (yedek) fana yönlenerek bu fanı da işlevsiz bırakmıştır. Sonuç itibarıyla bu yol ocaktan acil kaçışa izin vermeyen yanan bir baca işlevi görmüştür (Şekil 6.7).

Havalandırma sisteminin devre dışı kalması, ilkinden daha şiddetli olmak üzere tekrarlanan patlamalara neden olmuştur. Dolayısıyla, havalandırma şebekesindeki problem, ilk patlamadan bir şekilde kurtulmuş olabilecek madencileri kurtarma şansını tamamen ortadan kaldıracak şekilde istenmeyen bir ocak ortamının oluşmasına yol açmıştır.



**Şekil 6.7** Maden fanı patlamasının temsili resmi ( Pike River Kömür Madeni Trajedisi Kraliyet Komisyonu Raporu, Ağustos 2021).

**7. TEHDİT – KIVILCIM KAYNAKLARI:** Bir ocakta grizu patlaması olabilmesi için ocak havası içindeki metan konsantrasyonunun patlama aralığında (%4-%15) olması ve ortamda bir kıvılcım kaynağının bulunması gerekir. Ocaklarda patlama koruma (exproof) özelliği olmayan veya bozulmuş elektrik aksamı, sürtünme sonucu kıvılcım meydana gelmesi ya da ocağa kaçak sokulan malzemeler (cep telefonları, elektronik saatler), gazlı ocaklarda kullanıma uygun olmayan dizel motorlar dahil olmak üzere birçok olası kıvılcım kaynağı mevcut olabilir. Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde bu tür uygun olmayan kıvılcım kaynaklarının varlığı uzun zamandır bilinmemekteydi. Araştırma komisyonu, Pike River Yeraltı Kömür Madeni kazasında patlamaya neden olan kıvılcım kaynağını kesin olarak belirleyememiştir. Ancak patlamanın ocaktaki suyu tahliye eden pompalara elektrik enerjisi geri geldikten saniyeler sonra meydana geldiği tespit edilmiştir.

**8. TEHDİT – METAN İZLEME SİSTEMİ:** Ocak havası koşullarını ve hava ortam parametrelerinin zamansal değişim karakterini anlamak için ocak havasındaki metan içeriklerinin sürekli gaz sensörleri vasıtası ile izlenmesi zorunludur. Pike River Yeraltı Kömür Madeni, yerüstündeki merkezi kontrol odasından izlemeyi sağlayan bir sistem kurmuştur, ancak patlama anında izleme yapan çok az sayıda metan sensörü mevcuttu ve bunlar da uygun şekilde yerleştirilmemişti. Dönüş hava yolunda sadece dört sabit sensör vardı. Hidro paneldeki bir sensör ise su jeti ile çalışan operatörlere ani bir gaz geliri ve buna bağlı olarak ortamdaki gaz konsantrasyonu artışını haber veren uyarı alarmı vermekteydi. Diğer bir sensör ise aktif durumda değildi. Ayrıca havalandırma kuyusu tabanına ve yeryüzünden girişine yakın bir bölgeye sensörler yerleştirilmişti. Fakat tabandaki sensör ilk patlama yaşanmadan 11 hafta önce kırılıp devre dışı kalmıştı, diğer sensör de kalibre edilmemişti, dolayısıyla okuma değerleri güvenilmezdi; %2.96 değerinin üzerinde bir metan konsantrasyonu okuyamıyordu. Ana fan bölgesi üzerinden madendeki değişik çalışma noktalarından yeryüzüne bilgi akışı sağlayan başka sabit sensörler de bulunmamaktaydı.

Portatif gaz dedektörleri kullanılarak ocak genelinde gaz ölçümleri de yapılmaktaydı

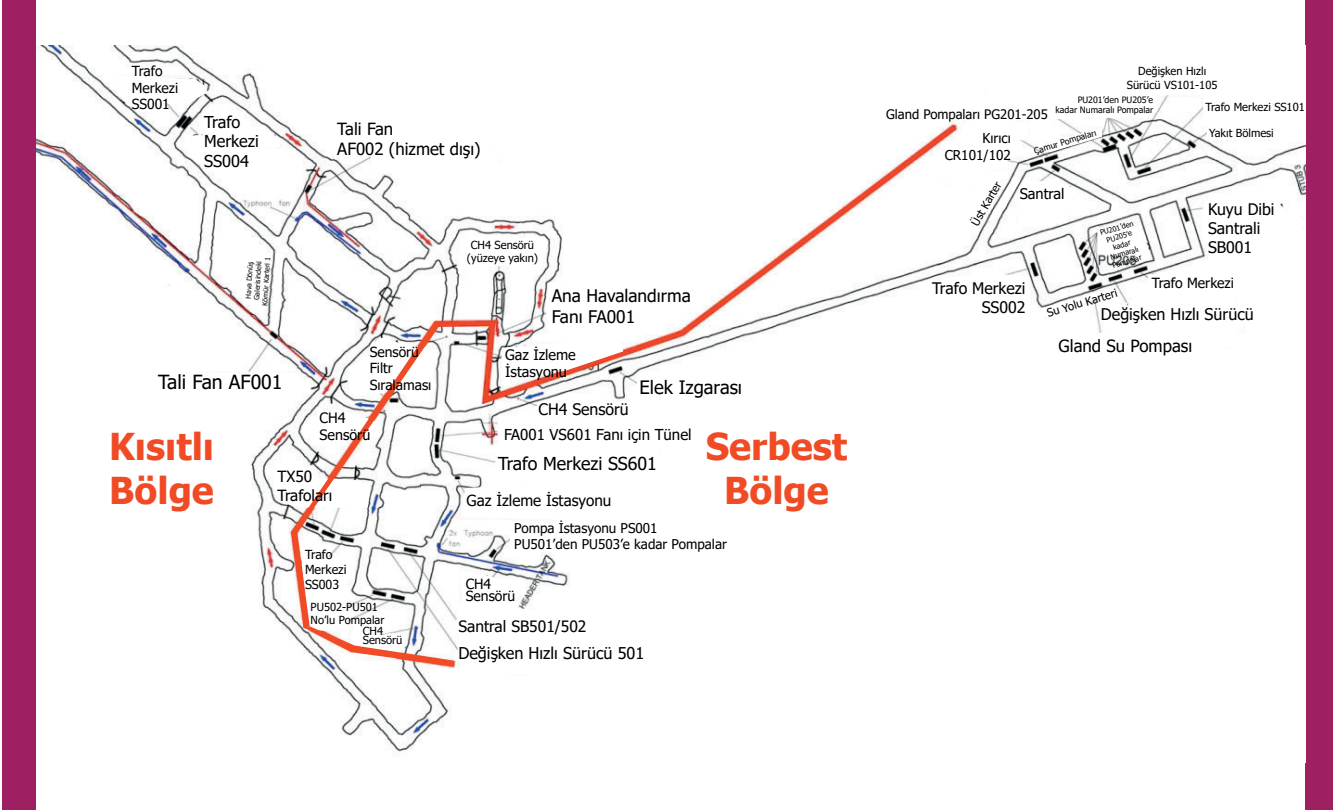
ve bunlardan sağlanan yüksek metan değeri okumaları vardiya raporlarında belirtilmişti. Makinelere takılan metan sensörleri genelde iyi durumdaydı ve belirli bir metan seviyesinde enerjiyi kesecek şekilde programlanmıştı. Fakat bazı makinelerde, çalışanlar tarafından sensörlerin sık sık devre dışı bırakıldığı ve üretimin bu riskli duruma rağmen devam ettiği de biliniyordu.

Metan izleme sistemi denetleme ve kontroller yapılmasına rağmen, ciddi bir yönetim sorunu olduğu işaret etmekteydi. Hidro madencilik yöntemi ile üretime başladıktan sonra, çoğu günlerde tehlikeli derecede yüksek metan konsantrasyonları izlendi. Bu çıktı gerektiği şekilde değerlendirilmedi ve büyük bir patlama riskinin uyarı işaretleri olmasına rağmen bu uyarıya verilen tepki oldukça yetersizdi.

**9. TEHDİT – ELEKTRİK TESİSATI:** Madenlerde genellikle güç kabloları, anahtar panoları, transformatörler, değişken hızlı sürücüler (VSD) ve elektrik motorlarını içeren elektrik sistemleri yoğun olarak kullanılır. Herhangi bir elektrikli cihaz, kıvılcım (elektrik arkı) veya yüksek sıcaklık nedeniyle yanıcı gazların tutuşmasına yol açabilir.

En önemli ve yerinde önlem, elektrikli ekipmanın mümkünse yanıcı gaz bulunan ortamlara yerleştirilmemesidir. Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde elektrik altyapısı için iki yer vardı. Bunlardan biri taban taşı içinde sürülen ana ulaşım galerisinin kuzey tarafında yer alıyordu ve yeraltı teşkilatının büyük bir kısmına güç sağlıyordu. Enerji iletimi, galeriden geçen iki adet 11 kV enerji hattıyla sağlanmıştı. Elektrik teşkilatının ikinci merkezi ocağına daha derinlerinde, kömür damarının içindeydi. Bu tesis ana havalandırma fanına ve pompalara güç sağlıyordu ve galerideki üçüncü bir 11 kV enerji hattın besleniyordu. Yangın ve patlama riski bakımından bu bölgenin seçilmesi alışılmadık bir durumdu. Burada bulunan ekipmanın çoğunun ne alev dayanıklı ne de exproof özellikte olduğu ve buna ana havalandırma fanının motorunun da dahil olduğu düşünüldüğünde bunun büyük bir ihtiyatsızlık örneği olduğu ortaya çıkmaktadır. Temelde yatan sorun, Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nin kendi içinde 'kısıtlı' ve 'kısıtlı olmayan' bölgeler tanımlamasıydı ve bu tanımlama, riskin ihtiyatlı bir şekilde değerlendirilmesinden ziyade yalnızca mühendislik kolaylığına

dayanıyordu. Aslında Kralliyet Komisyonu bu elektrik servislerinin kömürün içine yerleştirilmesinde hiçbir risk değerlendirmesi yapılmadığını tespit etmiştir. Kısıtlı bölge metan gazının beklendiği ve operatörlerin önlem alması gereken bölge olarak tanımlanmıştı. Kısıtlı olmayan bölge ki, kömürde yer alan kuyu dibini (inset bölgesi) de içeriyordu, özel bir önlem gerektirmeyen bölge olarak tanımlanmıştı (Şekil 6.8).



**Şekil 6.8** Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde kısıtlı ve kısıtlı olmayan alanlar (Pike River Kömür Madeni Trajedisi Kralliyet Komisyonu Raporu, Ağustos 2021).

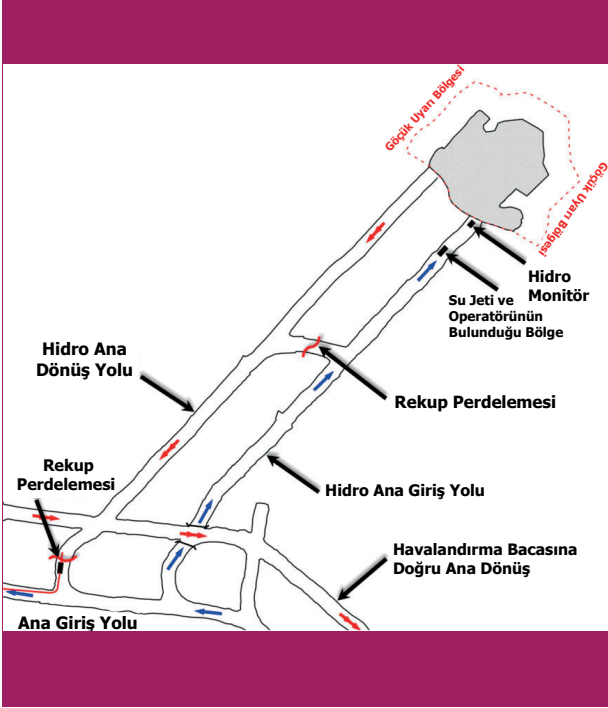
Kömür içinde bulunan kuyu insetinde metan gazı konsantrasyonu çok yüksek olduğunda devreleri açarak enerjinin kesilmesini sağlayan birden fazla devre kesici bulunuyordu. Ancak daha önemli olan husus, madenin gaz çıkışı olabilecek bölgelerinde patlama korumalı, alev sızdırmaz muhafazalı (exproof) ekipman eksik olmasıydı. Ayrıca, üç orta gerilim besleme hattı (11 kV OG) da dahil olmak üzere elektrik kabloları diğer servis hatlarının (basınçlı hava, enstrüman havası, su. vb.) etrafına yerleştirilmişti. Diğer bölgelerde de elektrikli ekipmanlar su borularının altına yerleştirilmişti.

Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde on adedi taban taşı içinde sürülen ana galerilerde ve iki adedi de kömür içinde sürülen ana galerilerde olmak üzere toplam 12 adet değişken hızlı sürücüler (frekans konvertörü-VSD) vardı. Ekipmanlarda hız devir ayarlayıcı sürücü olarak tabir edilen frekans konvertörü cihazlarının madenlerde kullanımı kabul görmüş olsa da Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde bunların yerleşim şekli alışılmamışın oldukça dışındaydı. Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde değişken hızlı sürücülerle ilgili birçok

sorun yaşanmış, bunlardan bazıları potansiyel olarak bir kıvılcım (ark) oluşturabilecek şekilde arızalanmıştır. Bunlardaki sorunlar kaza yaşandığı sırasında da devam etmekteydi. Ayrıca, ana havalandırma fanını besleyen sürücülerde yetersiz iklimlendirme (havalandırma) koşulları yüzünden aşırı ısınma sorunları yaşanıyordu ve çözüm için uygun bir havalandırma sisteminin gelmesi bekleniyordu.

Komisyon, Pike River Yeraltı Kömür Madeni'ndeki elektrik risklerine yönelik yaptığı değerlendirmelerde birtakım hatalar bulmuştur. Genel olarak elektrik sistemlerinin tasarımı ve bakımı gelişigüzel yapılmıştır. Patlama/yangın riski, serbest bölge seçimi, patlama korumalı (exproof) olmayan elektrik tesisatının kullanımı, değişken hızlı sürücülerin kalabalık ve hacim olarak yetersiz ortamda kullanımı ve bu nedenle aşırı ısınma/ arıza sorunları ve elektrik kablolarının kullanım suyu, basınçlı hava gibi diğer servis hatları ile birlikte uygunsuz şekilde yerleştirilmesi birçok eksikliğe ve uygunsuzluğa ilaveler getirmiştir.

**10. TEHDİT – HİDRO MADENCİLİK:** Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde hidro madencilik yöntemi ile üretim Eylül 2010'da başlamıştır. Bu madencilik metodu arındaki kömürü kesmek için yüksek basınçlı su jeti kullanan bir yöntemdir. Üretim panosu ile su jeti ekipmanının özel bir uzmanlıkla tasarımını gerektiren farklı bir madencilik metodudur. Operatörlerin, belirli bir kesme sıralamasını takip etmesi ve formasyonda aşırı metan salınımını önlemek için su jetini kullanabilmesi için özel olarak eğitim alması gerekmektedir. Hidro madencilik üretim panosu, bu amaçla Şekil 6.9'daki planda gösterildiği gibi hazırlanmış ve faaliyete geçirilmiştir.



**Şekil 6.9** Pike River Yeraltı Kömür Madeni hidro panel giriş ve çıkış yolları (Pike River Kömür Madeni Trajedisi Kraliyet Komisyonu Raporu, Ağustos 2021).

Ayrıca, hidro-madencilik (su jeti ile kesme) yönteminde tavan taşında düşmelerin meydana geldiği ve bir göçük bölgesi (goaf) oluşturduğu bilinmektedir. Bu taş düşmeleri, ani metan boşalmalarına yol açmakla birlikte, ortamdaki metanı aniden erişim yollarına doğru itmekteydi. Göçük bölgesindeki blok taş düşmelerinin ortamdaki ani metan artışının önemli bir nedeni olduğu düşünülmüştür.

Hidro madencilik üretimi başladığında, çalışanlara Eylül ayı sonuna kadar üretim hedefinin yakalanması durumunda 13.000\$

tutarında bir ikramiye teşviği verileceği uzmanlarca incelenmiş, hayatta kalan iki çalışan üzerinde gözlenen etkileri değerlendirilmiş ve patlama ile ilgili hesapsal akışkanlar dinamiği (Computational Fluid Dynamics – CFD) bilgisayar modeli çalışması yapılmıştır. Yapılan incelemeler ve hesaplamalar sonucunda en olası patlama başlama noktasının, maden faaliyetlerinin yaklaşık ortasında, yani yeraltına kurulan ana ocak fanı yakınında bir yer olduğunu göstermiştir.

**11. TEHDİT – YÖNETİMSEL VE ORGANİZASYONEL ZAAFLAR:** Yaşanan kazadaki en önemli husus, bu felakete yönetimin aldığı yanlış kararların yol açmış olmasıdır. Alınan stratejik kararlar patlama olasılığını artırmış ve kaçınılmaz hale getirmiştir. Maden hazırlıkları, uygun hava yolu şebekesi ve altyapı hazır olmadan kömür madenciliğine başlanması, trajedinin meydana geldiği koşulları yaratmıştır.

## İKİNCİ DOMİNO – Yönetim Kontrolü Eksikliği

**12. TEHDİT – YÖNETİMSEL VE ORGANİZASYONEL ZAAFLAR:** Yaşanan kazadaki en önemli husus, bu felakete yönetimin aldığı yanlış kararların yol açmış olmasıdır. Alınan stratejik kararlar patlama olasılığını artırmış ve kaçınılmaz hale getirmiştir. Maden hazırlıkları, uygun hava yolu şebekesi ve altyapı hazır olmadan kömür üretimine başlanması, trajedinin meydana geldiği koşulları yaratmıştır.

- **EKONOMİK NEDENLER:** Üretim ve ekonomik geri dönüşe başlama çabası her ticari kuruluşta olduğu gibi kömür madenciliğinde de olağan istektir, ancak Pike River Yeraltı Kömür Madeni özellikle ekonomik bakımdan zor durumda olup, tek gelir kaynağı yani tek bir madeni olan bir firmaydı. Kurum faaliyetlerini sürdürebilmek için mali yönden destekleyici krediler almaya devam ediyordu. Yöneticiler ve müdürler, madende uygulanması hedeflenen/kurgulanan teknolojinin adaptasyonu tamamlanmamış olmasına rağmen bir an önce gelir elde etmeye başlamak için bu olgunlaşma süreci tamamlanmadan üretime geçmeye karar vermişlerdir. Aksi takdirde, bu yatırım girişimi başarısızlıkla sonuçlanabilir ve işletme kapanarak madendeki çalışanların da geçim kaynağı ortadan kalkabilirdi.

Mevcut mali baskılar ve nakit akışı sorunları, yöneticilerin hızlı bir çözüm aramasına neden olmuştur. Bu da işletme gelirinin bir an önce sağlanması ve maliyetin düşürülmesi anlamına geliyordu. Dolayısıyla doğrudan üretime hizmet etmeyen bir takım altyapı yatırımları kısıtlandı ve bunun güvenlik açısından kötü sonuçları olmuştur.

En uygun çözüm olarak seçilen hidro madencilik metodunda kullanılan yüksek basınçlı suyla kesme teknolojisi hala geliştirilme aşamasındaydı ve madenin altyapısı tam olarak hazır değildi. Daha doğrusu kritik altyapı eksiklikleri mevcuttu, maden havalandırması yetersizdi ve yeryüzüne ikinci bir acil kaçış yolu bulunmamaktaydı. Üst yönetim üzerinde yoğun mali baskılar mevcuttu. Üretime yönelik ve ekonomik kaygılar iş güvenliğinden daha baskındı.

- **EKSİK RISK YÖNETİMİ:** Kömür üretimindeki çalışma yoğunluğu, müdürlerin ve yöneticilerin güvenlik konusuna odaklanamamasına yol açmıştır. Kurumun risk değerlendirmeleri çeşitli şekillerde eksik, tamamlanmamış veya eyleme geçirilmemiştir. Personelden gelen uyarılar ve geri bildirimler göz ardı edilmiştir. Komisyonun görüşüne göre, kurum yüksek riskli olduğu bilinen bir sektörde faaliyet göstermesine rağmen, yönetim kurulu sağlık ve güvenliğinin uygun şekilde yönetilmesini sağlamamış ve üst düzey yöneticiler çalışanların karşı karşıya olduğu sağlık ve güvenlik risklerini yeterince değerlendirmemişlerdir. Yöneticiler kömür üretim sürecine doğru yaklaşırken, sağlık ve güvenlik olgusuna yeterince önem vermemiş ve çalışanlarını kabul edilemez risklere maruz bırakmışlardır.

Bir yeraltı madeninde kavlak (kaya/blok) düşmesi, kaya patlaması, su baskını, elektrik çarpması, zehirli gazlar ve patlama gibi dikkatle ele alınması gereken pek çok risk bulunabilmektedir. Tüm bu riskler karmaşık bir küme oluşturur. Genel olarak riskleri değerlendirmek için çeşitli yöntemler mevcuttur. Kullanılan yöntem ne olursa olsun, tehlikeleri tam olarak tanımlamak, bunları bazı karar kriterlerine göre değerlendirmek, düzeltici faaliyetler uygulamak ve ardından bunların etkinliğini izlemek bu maden işletmesinde eksiktir.

- **KURUM KÜLTÜRÜ:** Kurum kültürü, kurum içinde kabul edilebilir olarak yerleşmiş davranış normlarını ifade eder. Bir yerde işlerin nasıl yapıldığına dair paylaşılan bir

anlayıştır ve dolaylı öğrenme yoluyla ortaya çıkar. Çalışanlar hangi davranışlarının yöneticiler tarafından ödüllendirildiğini, hangilerinin göz ardı edildiğini ve hangilerinin reddedildiğini gözlemler. Sonuç olarak hem yöneticiler hem de çalışanlar kurum kültürünü şekillendirir. Liderlik tarzının bile bir etkisi olabilir.

Pike Yeraltı Kömür Madeni örneğinde, soruşturma ekibi güvenlik prosedürlerinin sayısında değil, ihlallerin sıklığında hata bulmuştur. Madende metan izleme sensörleri vardı. Yöneticiler cihazlar sayesinde metan konsantrasyonlarının yüksek seyrettiğini biliyorlardı ama yine de çalışma yapılmaya devam edilmiştir. Çalışanlar da bu yaklaşıma ayak uydurarak, bazen yüksek metan değerlerinde makinelerin durması / durdurulması gerekirken bile çalışmaya devam etmişlerdir. Madencilerin bazen ekipmanlarındaki metan sensörlerinin etkinliğini ortadan kaldırmak için cihazları plastik torbalarla sardıkları ifadelerden belirlenmiştir.

Metanın acil mali kaynak gerektiren temel bir sorun olmaktan ziyade yönetilmesi gereken operasyonel bir sorun olduğuna dair genel bir algı vardı. Madeni yüksek metan konsantrasyonlarında, bir patlama kazası olmadan çalıştırmayı başarmışlar ve böylece risk konusunda kayıtsız kalmışlardı.

Patlamadan önceki son 48 gün içinde metan konsantrasyonlarının patlama aralığına ulaştığına dair 21 rapor ve patlama aralığından daha düşük ancak potansiyel olarak tehlikeli konsantrasyonlarda olduğuna dair 27 rapor vardı. Yüksek metan içeriği raporları trajedinin yaşandığı sabaha kadar devam etmiştir. Fakat tüm bu uyarılar dikkate alınmamıştır.

Buna ek olarak, tehlikelere karşı alınan önlemlerin etkinliğinin izlenmesi konusunda bir ihmal söz konusu olduğu görülmektedir. Karotlu arama sondajlarından çıkan metan gazı numuneleri nadiren analiz edilmiş, portatif metan ölçüm cihazları genellikle hizmet dışı kalmış, metan drenaj hatlarının bakımı düzensiz yapılmış, çalışanların güvenlik eğitimleri titizlikle gerçekleştirilmemiş, metan seviyesine göre elektriği kesen kesici cihazlar kötü kalitede tesis edilmiştir. Temiz hava dağıtım şebekesi etkisiz kalmış, risk değerlendirmeleri tamamlanmamış, temel planlama süreçleri

(örneğin havalandırma planı, elektrik dağıtım planı) mantıksal sonuçlarına götürülmemiş, güvenlik raporlarına göre hareket edilmemiş, diğerlerinin yanı sıra taş tozu ve su bariyerleri standartların altında kalmıştır.

Pike River Yeraltı Kömür Madeni yöneticileri, gerekli teknolojik donanımın sağlanmasına odaklanan bir risk-giderme kültürü yapısına sahip bir firma gibi görünmektedir, ancak izlenmeyen prosedürlerin ve ihlallerin neden olduğu risklerden habersiz görünmektedirler. Örneğin, metan konsantrasyonlarını düşürmek için havalandırma sisteminin altyapısını iyileştirmeye çalışmalarına karşın, mevcut metan drenaj sisteminin etkin çalışmasını sağlamak için bir bakım programı oluşturma çabası göstermemişlerdir.

- 13. TEHDİT – ÇALIŞANLARDAKİ İŞ BAŞI EĞİTİMİ EKSİKLİĞİ:** Pike River Yeraltı Kömür Madeni, barındırdığı işgücünün büyük kısmının deneyimsizliği ve çeşitliliği göz önüne alındığında, iyi eğitim programlarına duyulan ihtiyacı fark etmiştir. Madencilere kapsamlı göreve işe başlama eğitimleri verilmiştir ve sürekli eğitim programı da 2010'da başlatılmıştır. Ancak üretime yönelik baskının hız kazanması nedeniyle eğitimler ihmal edilmeye ve ertelenmeye başlanmıştır.

Çok sayıda alt yüklenici ocakta uzun vadeli olarak görev almıştır. Yüklenici sağlık ve güvenlik yönetiminde yeterince etkin değildir. Özellikle daha küçük alt yüklenicilerin işe başlama ve yeraltı deneyimleri bulunmamaktadır. Bu fark edilmiş ve patlama yaşanmadan hemen öncesinde ele alınmaya başlanmıştır.

Yeraltında, nezaretçi ve uzmanların eksikliği, deneyimsiz madencilerin deneyimli madencilere göre oranının yüksek olması ve Yeni Zelanda madencilik koşullarına uymayan denizaşırı ülkelerden gelen madencilerin varlığı nedeniyle zorluklar ortaya çıkmıştır. Çalışanların, metan riski varlığından habersiz olarak üretim faaliyetinin devam edebilmesi için maden makinelerindeki güvenlik cihazlarını devre dışı bırakarak çalışmaya devam etmeleri ciddi bir sorundu. Ayrıca deneyimsizlik, yetersiz eğitim ve prosedürlere uyulmamasından kaynaklanan riskli davranış ve olaylara ilişkin raporlar da vardı.

## **ÜÇÜNCÜ DOMİNO – Dolaylı Sebepler**

### **14. TEHDİT - ORGANİZASYONEL VİZYON:**

Pike River Yeraltı Kömür Madeni güvenli, üst sınıf bir kömür madeni teşkil etmek üzere yola çıkmıştır. Kurum ayrıca, iyi bir iş sağlığı güvenliği ve çevre yönetimine sahip olduğunu düşünüyordu. Yeraltı kömür madenciliği, en iyi şartlarda dahi hem tehlikeli hem de karmaşık bir işdir. Pike River Yeraltı Kömür Madeni, madene özel zorlu jeolojik koşulların bazı yenilikçi çözümler gerektirdiği dağlık bir alanda yeni bir maden geliştirirken ilave bir takım zorluklarla da karşılaşmıştır.

Pike River Yeraltı Kömür Madeni, 2010 yılının başlarında çoğu denizaşırı ülkelerden bazı üstün nitelikli yöneticileri işe almıştır. Birkaç ay boyunca madende bazı sağlık ve güvenlik ile ilgili girişimler uygulamaya çalışmıştır.

Pike River Yeraltı Kömür Madeni ayrıca madenin çeşitli hazırlık aşamalarında Yeni Zelanda ve Avustralyalı danışmanlardan tavsiye almıştır. Ayrıca genel maden ve jeoloji arama mühendisliği, havalandırma, kaya mekaniği ve tabaka kontrolü, elektrik güvenliği ve metan yönetimi konuları da dâhil olmak üzere bir dizi disiplinde görev yapan uzmanlardan tavsiyeler alınmıştır.

Bu hususlar başlangıçta yönetim tarafından kısmen kabul edilmiş, ancak sonradan bu tavsiyelere genel olarak uyulmamış ve gelişim sağlanamamıştır.

### **15. TEHDİT- YÖNETİMDE BİLGİ EKSİKLİĞİ:**

Pike River Yeraltı Kömür Madeni Yönetim Kurulu'nun kurum stratejisini belirlemesi ve bunu uygulaması gerekiyordu. Maden işletmesinin yöneticileri, risk yönetimi, dahili raporlama ve mevzuat uyumu dahil olmak üzere uygun iş süreçlerinin mevcut olduğundan emin olmak ve ayrıca yönetimin İSG performansını izlemek zorundaydı. Ancak sağlık, güvenlik ve çevre biriminde sadece iki uzman mevcuttu ve bu süreci yönetmeleri ve yönetim kuruluna rapor vermeleri gerekiyordu. Bu derece riskli bir sektörde sadece iki uzmanın bu kadar süreci sağlıklı bir şekilde yönetebilmeleri fiziken mümkün değildi. Süreç, dışarıdan alınan hizmetlerle raporlama ve denetimler yaptırılarak yönetilmeye çalışılmaktaydı.

Yönetim kuruluna, sağlık ve güvenlik bölümü içeren aylık bir raporlama yapılmaktaydı. Bu yararlı olmasına rağmen, grizu patlaması gibi felaket durumlar ile ilgili tehlikeleri kapsamıyordu. Yönetim kurulu, örneğin, ana ocak fanının kuyu tabanındaki yerleşimi de dahil olmak üzere kritik tasarım, sağlık ve güvenlik açıklarını değerlendirmemişti. Temmuz 2010'da bir sigorta kurumu risk değerlendirmesi yapmış ve raporlarında hidro madencilik, havalandırma eksikliği ve gaz patlamasına yol açabilecek ciddi tehlikeler ile ilgili endişelerini belirtmiştir. Ancak ne yönetim kurulu ne de direktörler bu raporu önemsemmiştir.

Maden müdürü patlamadan dört gün önce yönetim kurulu toplantısına katılmış ve yöneticilere gaz yönetiminin önemli bir sorun olmadığını ve operasyonların önünde engel teşkil etmediğini raporlamıştır. Ancak Yönetim Kurulu, bu güvenceyi değerlendirecek bilgi ve tecrübeye sahip değildi.

Yönetim Kurulu, etkin sistemlerin mevcut olduğunu ve risk yönetiminin etkili olduğunu düşünmekte idi. Kurumun karşı karşıya olduğu mali ve üretim baskıları dikkatleri dağıtmıştı, iş sağlığı ve güvenliğini tehdit eden riskleri fark edememişlerdi.

Pike River Yeraltı Kömür Madeni maden yönetim planları ve prosedürleri dikkat gerektiriyordu. Sağlık ve güvenlik yönetim planı, kısmen diğer yöneticilerden teknik girdi beklerken büyük ölçüde taslak halindeydi. Havalandırma yönetim planı yetersizdi.

Metan gazı konsantrasyonunun artması, ekipman arızaları, havalandırma yetersizliği vb. olay raporlarının soruşturulması sistemsiz ve gelişmiş yürütülmüştür. Bunun sonucunda Ekim 2010'da o zamana dek biriken soruşturmalara ilişkin veriler silinmiştir. Sabit ve portatif gaz izleme cihazlarından alınan metan okumaları da dahil olmak üzere yeraltından sağlanan diğer bilgi akışı sistematik olarak analiz edilmemiş ve bildirilen sorunlar ele alınmamıştır. Üst düzey yönetici seviyesinde, Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde sağlık ve güvenlik kültüründen önce üretim kültürü geliyordu ve bu nedenle olası bir grizu patlaması riskine ilişkin işaretler ya fark edilememiş ya da bu işaretlere reaksiyon verilememiştir.

#### **DÖRDÜNCÜ DOMİNO – Kaza / Etkilerin Azaltılması**

Kök neden analizlerinde özellikle Acil Müdahale Eksikliği olay meydana geldikten sonra olayın büyümesini engellemek için alınan tedbirleri içermesinden dolayı Hata Ağacı Analizinde esas kök neden içerisinde yer almaz. Ancak kazayı inceleyen kurul tarafından hazırlanan raporu içerisinde kaza nedeni olarak özellikle anlatılmış hatta bu kısım için bir bölüm açılmıştır.

Kaza nedeni olarak alınmasının sebebi ise acil müdahale içinde kaçış yolu dizaynı, sığınma odası dizaynı hatası yapılmış olması, gaz salınımı esnasında gaz kaçağını haber verecek olan örnekleme sisteminin kurulmamış olması ile acil durumda (yani gaz ve yangın durumunda) hem kaçışı hem de havalandırmayı sağlayacak yedek fan hatası vb. hatalar sayılmış ve bu hatalar acil müdahale içinde anlatılmıştır.

#### **16. TEHDİT – ACİL MÜDAHALE EKSİKLİĞİ:**

En önemli kurumsal başarısızlıklardan biri, durumu kontrol altına almaya yardımcı olacak mekanizmaların eksikliğiydi. İlk patlamadan sonra, kullanılabilir ikinci bir acil çıkış yolunun bulunmaması bir başarısızlık olarak ortaya çıkmıştır. Hayatta kalmış olabilecek çalışanlar kaçış amacıyla kullanılacak dikey havalandırma kuyusuna tırmanamamış, bu kuyu yanan bir baca işlevi görmüştür.

Pike River Yeraltı Kömür Madeni yönetimi kazadan sonra müdahalede geç kalmıştır. Madendeki iletişim ve güç kaybının ofis tarafından hemen fark edilmesine rağmen, bir patlama olduğunu fark etmeleri uzun zaman almıştır. Bunun rutin bir sorun olduğunu düşünmüşlerdir.

Saat 15:45'teki patlamadan birkaç dakika sonra maden müdürüne, yeraltından gelen tüm bildirimlerin durduğu ve kimsenin kontrol odasını aramadığı söylenmiştir ki, bu benzeri daha önce görülmemiş bir durumdu. Buna rağmen madende bir acil durum ilanı veya acil durum planı uygulaması söz konusu olmamıştır. Yalnızca, elektrik sisteminin kontrol edilmesi için ocağa oksijenli ferdi kurtarıcı maske olmaksızın bir elektrikçi çalışan gönderilmiştir.

Madene gönderilen elektrikçi uygun olmayan bir maden atmosferi olduğunu fark etmeden 1500 metre kadar içeri girmiş, ancak yol üzerinde bir araç ve yatan birini gördüğünde derhal geri dönmüştür. Bu kişi ancak aradan uzunca bir süre geçtikten sonra maden yetkililerini yaşanan kaza konusunda uyarabilmiştir. Pike River Yeraltı Kömür Madeni yönetiminin bu kaza üzerine bir kurtarma planı da mevcut değildi ve dış kaynaklardan gelecek kurtarma desteğinden başka yapabilecekleri bir şey yoktu.

Acil durum müdahalesine Pike River Yeraltı Kömür Madeni yönetimi yerine Yeni Zelanda polisi öncülük etmiştir ve Wellington şehrinde maden kazasına müdahale için önemli kararlar almak zorunda kalmıştır. Pike River Yeraltı Kömür Madeni yönetimi, maden uzmanları, acil durum hizmet grupları, polis ve acil servislerden oluşan bu türde bir acil durum müdahalesi daha önce yaşanmamış bir pratiği yansıtmıştır.

Güvenlik güçleri elinden geleni yapmış olmasına rağmen, bu ekibin maden kazasıyla mücadele konusunda hiçbir bilgi ve birikimi bulunmamaktadır. Kurtarma için madene girmek imkansız olduğundan, daha sonra yaşanan patlamalar ve yangınlar mahsur kalan madencilerin hayatta kalma umutlarını yok etmiştir.

- **ACİL KURTARMA SİSTEMLERİNDE EKSİKLİK:** Madenin içinde temiz hava dolaşımı olmadığından, madenin içindeki atmosfer yaşam için elverişsiz hale gelmiştir. Sonuç olarak, ilk patlamadan sağ kurtulmuş olabilecek madencilerin, söz konusu kaçış mesafeleri göz önüne alındığında, kendi başlarına dışarı çıkma şansları yoktu. Madencilerin yanlarında ferdi kurtarıcı maske bulunmaktaydı, ancak hayatta kalan madenciler bunların çalışmadığını ve yük olmaması için yürürken yolda attıklarını bildirmişlerdi. Bu kazazedelerin desandre tarafında girişe yakın oldukları için temiz havaya daha yakın oldukları unutulmamalıdır.

Ocağın kazadan sonraki fiili durumu bilinmediği için dışarıdan bir kurtarma operasyonu düzenlemek imkansız hale gelmiştir. Kurtarma ekiplerinin metan konsantrasyonları bilinerek yeraltına

gönderilmesi temel bir ilkedir. Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nin metan değerlerini düşürmek için hiçbir yaklaşımı bulunmamaktaydı. Ayrıca metan değerlerini ölçmenin de somut bir yolu yoktu, çünkü bunu mümkün kılacak uzaktan tüp demeti (tube bundle) gibi örnekleme sistemleri kurulmamıştı.

Patlamadan sonra büyük bir arama ve kurtarma çalışması başlatılmıştır. Maden Kurtarma Servisi'nin (Mine Rescue Services - MRS) güvenli şekilde ocağa girebileceği bir kuyu ya da başka bir yerüstü girişi (portal) bulunmamaktaydı. Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nin grizu patlaması olayından sonra maden havasından numune toplayabilmek veya analiz edebilmek için kurulu bir altyapısı da yoktu ancak bu bilgi sağlanmadan ocağa giriş risklerini değerlendirebilmek mümkün değildir. Ana fanın yeraltına yerleştirilmesi ve yüzeydeki yedek ikinci fanda meydana gelen hasar, madenin hızlı şekilde yeniden havalandırılmayacağı anlamına geliyordu.

- **TEMİZ HAVA ÜSLERİNİN (FAB) UYGUN OLMAMASI:** FAB'ler veya temiz hava üsleri olarak da bilinen, temiz hava kaynağına sahip (genel olarak basınçlı hava hattından alınan hava) bir yeraltı kurtarma istasyonudur. Temiz hava üssü (odaları), acil durum ocak tahliyesi sırasında geçici durak olarak kullanılmak, ocak havasının hayatta kalmaya izin vermediği şartlardan kurtarma ekipleri gelene kadar izole olmak amacıyla tasarlanmıştır. Acil kurtarma ekiplerinin toparlanmasına, strateji oluşturmasına ve yüzeye iletişim kurmasına izin verirler.

FAB'ler, maden içerisine havalandırma mühendislerinin rehberliğinde konumlandırılmışlardır. Temiz hava üsleri, sürekli temiz hava akışı olan ve dönüş (kirli) hava yollarından izole edilmiş ceplerde yer almaktadır.

Bu üsler bir temiz hava kaynağıyla irtibatlanarak (örneğin basınçlı ekipman hava hatları) yerleştirilmeli ve yerleri ocak planında ve yeraltında levhalarla belirtilmelidir. Bunların içinde genellikle acil durum eylem planının güncel bir kopyası ve yeryüzü ile iletişim kurmayı sağlayan

bir cihaz (diyafon vb.) bulunmalıdır. Ayrıca içme suyu ve basınçlı hava kaynağına sahip olmalıdırlar.

Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde, Spagetti Kavşağı yakınlarındaki küçük çaplı temiz hava kuyusunun altındaki cep bir FAB olarak düzenlenmişti. Metan drenaj boru hattı, yedek kurtarıcılarının, ilk yardım ve yangın söndürme ekipmanlarının da bulunduğu cebin içinden yani FAB alanı içinden geçiyordu. Girişte açılır kapanır bir bariyer perdesi bulunmaktaydı, ancak bu perde etkin bir sızdırmazlık sağlamamıştır. Meydana gelen bir patlamanın ardından temiz havanın küçük çaplı kuyu içinden geçebileceğinin de bir garantisi yoktur.

Cep yalnızca adı FAB olarak anılan bir kaçış ortamıydı, fakat ne yazık ki acil durum halinde sığınılacak emniyetli bir ortam teşkil etmiyordu. Kurtarma ekipleri için bir aktarma istasyonu olarak kullanıma da uygun değildi.

#### **BEŞİNCİ DOMİNO – Kaza**

**SONUÇ:** 19 Kasım 2010 Cuma günü yerel saate göre 15:45'te Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde bir patlama yaşanmıştır. 29 madenci hayatını kaybetmiştir. 24 Kasım 2010 Çarşamba günü ocakta meydana gelen ikinci bir patlama ve takip eden iki patlamayla da ocakta mahsur kalan çalışanların hayatta kalma ümitleri ortadan kalkmıştır. Patlamaların ardından maden girişleri kapatılmış ve yeraltına nötr gaz (azot gibi) enjeksiyonu yapılmıştır. Oluşturulan oksijensiz ortamda ocaktaki yangınlar sönmüş, metan açısından zengin ve solunamaz hale gelen ocak atmosferi stabilize edilmiştir.

Temmuz 2012'de Solid Energy New Zealand Ltd., Pike River Yeraltı Kömür Madeni'ni satın almıştır. Firma hükümetle, güvenli bir şekilde, teknik yönden uygulanabilir ve mali açıdan güvenilir olacak bir madencilik operasyonu için anlaşma imzalamış, ayrıca vefat eden çalışanları ocaktan tek tek çıkarma yönünde de anlaşma maddesini de kabul etmiştir.



Kök neden analizleri, olayın nasıl gerçekleştiğini ve olaya ilişkin eğilimleri anlamak, olaylardan çıkarım yapmak, süreçleri planlayıp uygulamak, aynı veya benzer olayın tekrarlanmasını önlemek için yapılmaktadır.



## 7. KÖK NEDEN ANALİZİ YÖNTEMLERİ

### 7.1. 5N ve 1K Yöntemi

Dünyada ve ülkemizde madenlerde çalışanlar birçok tehlike ve riske maruz kalmaktadır. Bu sorunlar kazalara ve meslek hastalıklarına sebebiyet vermektedir. Bu sorunların bir kısmı açıktır ve bunları düzeltmenin çözümü de basittir. Ancak diğerleri çok daha karmaşıktır ve sorunun temel nedenine ilişkin çok daha fazla öngörü gerektirir. Bu tür konularda doğru soruları sormak, doğru bilgileri toplamak ve böylece her açıdan incelemek çok önemlidir. 5N ve 1K yöntemi, nedenleri çok açık olan ve net olarak görülme ihtimali yüksek olan kaza araştırması için çok uygun bir tekniktir.

“5N ve 1K” tekniğinin aslında çok eski, 2000 yılı aşan bir tarihe sahip olduğu belirlenmiştir. “Görece Kale” diye bilinen Temnos Antik Kenti’nde (İzmir’in Menemen ilçesinde bulunmaktadır) bu tekniği oluşturan kalıntılara rastlanılmıştır (Özdilek İslamoğlu, Ö., Şubat 2008).

5N ve 1K tekniği, yaşanmış bir vaka, kaza veya problem veya uygunsuzluğa ilişkin bir araştırma gerçekleştirmek için geliştirilmiş problem çözme tekniğidir. 5N ve 1K kök neden analizinin amacı, kazayı inceleyen araştırmacıların yaşanan olayın acil olarak çözümlenmesini ve durumun temelini veya altında yatan nedenlerini anlamalarını, böylece önleyici tedbirlerin alınabilmelerini sağlamaktır (Özdilek İslamoğlu, Ö., Şubat 2008).

Bir kazayı ya da ramak kala olayı yaratan nedenlerin doğru ve tarafsız olarak tespit edilmesi büyük önem taşır. Kök nedenlerin ön görülerek tespit edilmesi ve diğer faktörlerle ilişkilendirilebilmesi için destekleyici bir teknik olarak kullanılır (Özdilek İslamoğlu, Ö., Şubat 2008).

“5N ve 1K” tekniği, problem çözme amaçlı kullanılan en yararlı tekniklerden biridir. Bu teknik, problemlerle, öngörülen sebepler arasındaki bağların doğru ve eksiksiz olarak tanımlanmasına ve ilişkilendirilmesine olanak verir. Uygulaması oldukça basit olan bu teknik, problemin nedenlerini sistemli bir şekilde araştırmaya yöneliktir.

5N ve 1K kök neden analizi, bir durumu daha iyi anlamak, kapsamak, netleştirmek, yapılandırmak, çerçevelemek için gereken bilgileri ayırt etmemizi sağlar; çünkü bu düşünce tarzı, olayın çok boyutlu olarak farklı perspektiflerden keşfedilmesini sağlar.

Temel olarak, verilen cevaplarla bilgi toplamayı amaçlayan bir yaklaşımdır. 5N ve 1K; Ne, Nerede, Nasıl, Neden, Ne zaman ve Kim sorularının baş harflerinden oluşan bir kısaltmadır. Bu teknik aşağıdaki şekilde sorular sorar (Özdilek İslamoğlu, Ö., Şubat 2008):

- Ne oldu?
- Nasıl oldu?
- Neden oldu?
- Nerede gerçekleşti?
- Ne zaman gerçekleşti?
- Kim etkilendi?



Maden işletmeleri çeşitli sorunlarla karşı karşıya kalmaktadır, bu sorunlar da kazalara ve meslek hastalıklarına sebebiyet vermektedir. Madenlerde meydana gelen kaza araştırmaları için doğru soruları sormak, doğru bilgileri toplamak ve böylece her açıdan incelemek için kök neden analizleri anlatılmaktadır.

“5N ve 1K” tekniğinin birbirinden çok farklı birçok uygulaması vardır. Basitliği ve çok yönlülüğü sayesinde sorunların nedenlerini bulmaya, kaza incelemelerine mükemmel şekilde uygundur ve bu nedenle her seviyesinde kullanılabilir.

- **Ne oldu?**

**Açıklama:** Kazadaki olayın, görevin, aktivitenin, problemin, eylemin tanımı yapılır.

**Hedefler:** Eylemler, prosedürler, makineler vb. ne ters gitmiş?

Örnek sorular: Ne oldu? Sorun nedir? Durum nedir? Kullanılan ekipmanın özellikleri nedir?

- **Nasıl oldu?**

**Açıklama:** Olay nasıl ilerlemiş, kullanılan adımlar ve yöntem belirlenir.

**Hedefler:** Prosedürler, organizasyon yöntemleri, kullanılan eylemler, araçlar ve teknikler vb. nasıl işlevsiz kalmış?

Örnek sorular: Hangi koşul veya koşullar altında nasıl olay gerçekleşmiş? Kullanılan yöntemler nasıl etkisiz olmuş? Hangi kaynaklar nasıl kullanılıyormuş?

- **Neden oldu?**

**Açıklama:** Olayın çalışma yönteminin arkasındaki motivasyonu, amacı, gerekçeyi veya nedeni tanımlar.

**Hedefler:** Eylemler, çalışma stili vb. neden seçilmiş?

Örnek sorular: Eylem gerçekleştirilirken hedeflenen amaç neydi? Neden bu çalışma yöntemi veya bu ekipman seçildi?

- **Nerede gerçekleşti?**

**Açıklama:** Kazanın olduğu olay yeri veya ilgili olay yerleri tanımlanır.

**Hedefler:** Tesisler, atölye, iş istasyonu vb. nerededir?

Örnek sorular: Sorun nerede oluşmuştur? Sorun hangi noktada gerçekleşmiştir? Sorun hangi makinede/proseste vb. bulunuyor?

- **Ne zaman gerçekleşti?**

**Açıklama:** Olayın ne zaman gerçekleştiğini, ilgili olayların da zamana bağlı gerçekleşme sıralamalarını belirleyin.

**Hedefler:** Tarihler, saat, süre, sıklık vb.

Örnek sorular: Olay tarihi ve saati ne zaman? Ne kadar sürdü? Sorun ne sıklıkla ortaya çıkıyordu?

- **Kim etkilendi?**

**Açıklama:** Olaya neden olan ve olayla ilgili paydaşları, sorumlu veya etkilenen kişileri, mağdurları belirleyin.

**Hedefler** Yöneticiler, çalışanlar, mağdurlar, doğrudan dahil olanlar vb.

Örnek sorular: Olay esnasında görevin yapılmasından sorumlu kim? Sorunu kim buldu? İş kimden istenecekti? İş kim yapacaktı? Kim yaptı?

Özetlemek gerekirse, 5N ve 1K kök neden analizi, doğru şekilde sorular sorulması ve titizlikle araştırma yapılarak kullanılması koşuluyla, bir durumu daha iyi anlamak ve tasvir etmek için olağanüstü bir yöntemdir. Karşılaşılan sorunlara etkin çözümler sunan ve işletmede kaza sonrası olumlu bir sürekli iyileştirme dinamiği oluşturmaya yardımcı olan bir yöntemdir.

## 7.2. Balık Kılıçığı (Pareto) Analizi

İş kazalarının nedenleri araştırıldığında çoğunlukla temel ve basit hatalar ile karşılaşılır ve bu nedenle de küçük bir hatanın istenmeyen büyük felaketleri bile doğurabildiği görülmektedir. İş kazası sebeplerine bakıldığında, çoğunlukla personel, ekipman, teçhizat, ekipman, çevre, yönetsel hatalar kaynaklı nedenlerin var olduğu görülür. Ayrıca insan kaynaklı iş kazası nedenlerinin de fazla olması aslında şaşırtıcıdır (Özdilek İslamoğlu, Ö., Aralık 2007).

Balık kılıçığı yöntemi, problem ve sorunların nedenlerini, istatistikî model ve teknikler kullanılarak analiz eder ve sonuçları yorumlayarak olayın nedenleri belirlenmeye çalışılır. Bu teknik araştırmada ulaşabilen ve ortaya çıkarılan sonuçlarla bunları doğuran nedenler arasındaki çapraz ilişkiyi görsel olarak ortaya koyabilen bir yöntemdir (Özdilek İslamoğlu, Ö., Şubat 2008).

1943 yılında olasılık ve istatistik üzerine isim yapmış olan Dr. Kaoru Ishikawa tarafından geliştirilmiş olan bu teknik şekli nedeni ile balık kılıçığı olarak adlandırılmıştır. Aslında bu teknik bir neden-sonuç diyagramıdır. Söz konusu teknik literatürde aynı

zamanda yaratıcısının adı nedeni ile “Ishikawa Diyagramı” olarak da anılmaktadır. Bu tekniğe verilen bir diğer ad ise yine tekniği ortaya çıkaran kişiyi işaret etmek üzere Fishikawa’dır. Bu teknik aslında problem çözme için kullanılan en temel kök neden analizi tekniklerinden biridir. Ayrıca bu teknik Pareto analizi olarak da literatürde geçmektedir. Aslen aynı tekniktir (Özdilek İslamoğlu, Ö., Şubat 2008).

Pareto analizi, Balık kılıçığı yönteminin diyagram şekli olarak balık kılıçığı şekli kullanılmadan yapılan analiz yöntemi olarak bilinmektedir.

Kök nedenleri yaratan beş ana neden mevcuttur:

- Metot
- Malzeme
- Makine- Donanım
- İnsan
- Çevre

Bu sebeplerin problem konusunu tam olarak yansıtmaması durumunda, sektöre ve duruma bağlı olarak daha belirgin başka sebep başlıkları da tanımlanabilir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005):

- Yönetimsel veya organizasyonel anlamda üst seviye idari ve yönetsel konular,
- Kural ve yöntemleri içeren talimat ve prosedürler,
- Veri ve bilgi toplama, analiz etme ile ölçme doğruluğunun kontrol edilmesi,
- Madendeki süreçler, nakliye, işleme ve depolama, ölçüm vb. örnek olarak verilebilir.

Kazanın olası nedenlerinin belirlenmesi için genellikle beyin fırtınası gerçekleştirilir, sonrasında belirlenen kök nedenler balık kılıçığına benzeyen bir diyagram üzerinde birleştirilir. Bu teknik detaylandırılmış kök neden analizleri konusunda en basit şekilde uygulama imkanı olan yöntemdir. Kazanın, olayın veya vakanın altında yatan esas neden ile bunların sonuçları arasındaki ilişkileri belirlemek ve en iyi şekilde analiz etmek üzere kullanılan bir soru sorma yöntemidir. Vakayı araştıran kişi tarafından teknik uygulama aşamasında anlamlı sonuçlara varılıncaya kadar “Neden?” sorusu sorulmaya devam edilir (Özdilek İslamoğlu, Ö., Şubat 2008).

Bu tekniğin özelliği araştırma yapan kişiler tarafından en az beş sorunun sorulmasıdır. Ancak bazen ek sorular da gerekli olabilir ya da olay tam aydınlatılmadığı düşünülür ise soru sorulmaya devam edilebilir (Özdilek İslamoğlu, Ö., Şubat 2008).

Bu teknik uygulanırken genellikle analizin her aşamasında veri veya delil elde etmek gerekebilir. Balık kılıçığını kullanan uzmanların anlamlı veriler elde etmek için bazen bir soruyu farklı şekillerde ifade etmesi veya daha spesifik hale getirerek sorması gerekebilir. Örneğin; “Neden?” diye sormak yeterli olmayabilir ve bunun yerine, “Kazazede sizce neden bu yöntemi seçmiş olabilir?”, “Kontrol önlemi acaba neden başarısız olmuş olabilir?” veya “Çalışana eğitim verilmesine rağmen neden bu şekilde hareket etti?” gibi sorular sorulabilir (Özdilek İslamoğlu, Ö., Şubat 2008).

Kısaca uygulama adımları şu şekildedir;

1. Araştırılan olay veya kaza, balığın baş kısmına yazılır ve kalın bir okla gösterilir.
2. Söz konusu olay veya kazaya neden olabilecek ana sebepler tanımlanır ve birer kutu içine alınarak bu oka bağlanır. Bu “kök sebep” başlıklarına ekip olarak karar verilir. Çalışma ilerledikçe yeni kök sebep kutuları açılabilir.
3. Kök sebepler beyin fırtınası yöntemiyle tek tek ele alınır ve bu kök nedeni oluşturabilecek alt nedenler belirlenir. Bütün ana nedenler diyagram tamamlanıncaya kadar dallandırılır.
4. Olayı/kazayı araştıran her ekip üyesinden birbirinden bağımsız olarak en az beş adet “Neden” sorusu sorması ve bu sorulara cevap olacak kök neden önermesi istenir.
5. Ekip üyelerinden her birinden fikir beyan etmeleri istenir ve bu fikirler birer çizgiyle ilgili ana nedenlere bağlanır. Kaza araştırması yapan üyelerin belirttiği sebepler tartışılır ve dallar belirlenir.
6. İkinci aşamada alt sebepler için ekip üyelerine “Neden?” sorusunu sormaları ve en az beş adet cevap vermeleri istenir. Kaza ile ilgili kök nedenler için alt sebepler tartışılır ve ana sebeplere eşik paralel çizgilerle bağlanır.

Bir işletmede yaşanan kaza sonrasında, olay esnasında uygulanan her bir aşama için genel durum ve özellikler, işin çalışan için ilave bir tehlike oluşturup oluşturmadığı, kazanın gerçekleştiği ortam ve durumlar hakkında veri toplanması, alınan verilerin sistematik olarak değerlendirilmesi ve söz konusu tehlikelere karşı kontrol önlemlerinin belirlenmesi gerekir. Bu analiz sayesinde;

- İşin gerekleri nelerdir?
- İş nasıl yapılmış, nasıl yapılmalı idi?

- İş yapılırken nasıl tehlikeler oluşmuş?
- Çalışan ne zaman tehlike ile karşı karşıya kalmış?
- İş nerede yapılmış?
- İş neden yapılmış? gibi temel sorulara cevap aranır.

Balık kılıçığı tekniği ile analiz yapılmak istendiğinde, özellikle hazırlık aşamasında, kaza adımlarının ve kazaya karışan kişilerin görevleri, alt görevleri sıralanarak detaylı olarak analiz edilmesi ve bu adımları bozan durumlar ile yapının belirlenmesi gerekmektedir. Bu durumda balık kılıçığı analizi yapacak uzmanın öncelikle aşağıdaki bilgileri derlemesi gerekmektedir:

- **Kazaya Karışan Kişilerin Unvanları ve Bağlı Olunan Birimler:** Organizasyonda hangi birimde yer aldıkları ve görevleri,
- **Kaza Esnasındaki İşin Özeti:** Birkaç cümle ile açıklamasının yapılması,
- **Görevlerin Açıklanması:** Çalışanın her yaptığı iş bir görev sayılmalıdır, işin nasıl yerine getirileceğinin açıklanması da ortaya konulmalıdır,
- **Makine, Teçhizat ve Kullanılan Donanım:** Kaza esnasında kullanılan araç ve gerecin sıralanması,
- **Malzeme, Üretilen Malzeme veya Hizmet:** Kullanılan hammadde, üretilen ürün, sunulan hizmetlerin sıralanması,
- **Diğer Görevlerle İlişkisi:** Bu iş yapılırken ilişkide bulunan diğer görevlerin listelenmesi, ilişkide bulunduğu diğer görevlerin doğurabileceği tehlikelerin listelenmesi,
- **Zihinsel Çaba:** Çalışanın yaptığı görevde, karmaşık verilerin yorumlanması ve değişik durumlarla uğraşılması gibi yetenek ve zihinsel becerileri gerektirip gerektirmediği,
- **Fiziksel Gösterilen Çaba:** Fiziksel çalışmanın türü ve süresi, oturarak ya da ayakta çalışma pozisyonu,
- **Çalışanın Becerisi:** Görevin deneyim, el ve ayak, kol vb. uyumlu çalışma gerekip gerekmediği,
- **Görev Koşulları:** İşyerindeki ortam ısısı, gürültülü ortam, kimyasal nedeni ile buharların solunması vb. koşullarda çalışma yapılıp yapılmadığı,

- **İşin Yapılması Esnasında Oluşan Riskler:** Kaza anında yapılan işin hangi tehlike ve riskleri olduğu, iş kazasının tekrar olma olasılığı,
- **Öğrenim Düzeyi:** Çalışanın yaptığı işte mantıksal işlemlere, yabancı dil bilgisine vb. beceriye gerek olup olmadığı,
- **Monotonluk:** İşin yapısı tekdüze (monoton) mi veya rutin mi?
- **Mesleki Yeterlilik:** Çalışanın mesleki yeterliliği, eğitim düzeyi, çıraklık / ustalık / kalfalık eğitimi, iş öncesi ne kadar deneyimli olduğu, hizmet öncesi ve hizmet içi eğitim verilip verilmediği vb.

Bu aşamada alt görevler tek tek gözden geçirilir. Bu şekilde alt görevlerin yerine getirilmesi esnasında ortaya çıkabilecek tehlikelerin özellikleri daha kolay anlaşılabilir. Çeşitli sorular sorularak tehlikelerin tanımlanmasına yardım edilmeye çalışılır.

- Kazazede kaza anında nasıl bir görev yapıyordu?
- Kazazede çalıştığı işte nasıl yöntem ve teknikler kullanıyordu?
- Kazazedeye ne tipte makineler, aletler, donanım vb. yardımcı araç gerekiyordu?
- Kazanın incelemesi sonucunda üretilen mal ve hizmet ile ilgili ne tür çıktılar elde edildi? (tehlike ve risk açısından)
- Ne çeşit bilgi, beceri ve deneyim gerekiyordu?
- İşler hangi koşullarda yapıyordu? (çevresel faktörler)
- Hangi tip zarar gerçekleşebilirdi ve ne oldu?
- Zarar/Tehlike için bir kontrol listesi hazırlanabilir miydi?
- Çalışma esnasında çıkan problem veya sapma neydi?
- Görevi yapmak için diğer bir yol var mıydı?
- Tehlikeli materyal, teçhizat, makine vb. içeriyor muydu?

Balık kılıçığı analiz çalışmaları neticesinde işin ne olduğu, kazazedenin görev ve sorumlulukları ile kazazedenin bu işi yaparken ne gibi tehlikelerle karşılaşabileceği, bu iş için hangi zihinsel/fiziksel ve kişilik özelliklerine sahip olunması gerektiği tespit edilir.

### 7.3. Güvenlik Bariyer Analizi

Bu yaklaşım köken olarak kimya ve maden işletmeleri göz önüne alınarak oluşturulmuş olmasına karşın sonradan daha geniş kullanım alanı bulabilmiştir. Hata Ağacı Analizi ile birçok benzer yönleri bulunmaktadır ve uzman olmayan kişilerce de uygulanabilecek kolay anlaşılabilir bir yöntemdir.

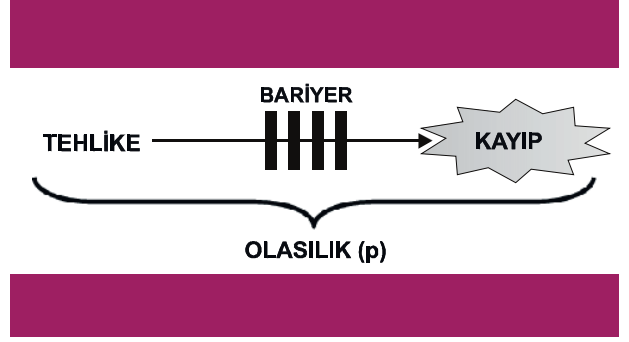
Güvenlik Bariyer Diyagramı yaklaşımı, kazalara karşı bariyerler oluşturarak çözüm bulunabileceği teorisini benimseyen bir metodolojidir. Teoreme göre “Güvenlik Bariyerleri” sayesinde, madenlere ilişkin tüm faaliyetler sırasında, çalışanlar ile işletme dışındaki toplum ve çevrenin olası zararlı etkilerinden korunması sağlanabilir. Güvenlik Bariyer Analizi'nin hedefleri şöyle özetlenebilir:

- Sürdürülebilir ve etkin koruma önlemleri olarak tesisten kaynaklanabilecek olası zararlara karşı çalışanları ve çevreyi korumak;
- Çalışma yerinde örneğin kimyasal madde buharlaşması durumunda maruz kalınan kimyasal dozunun toksisite sınırların altında tutmak; kaza koşullarında ise kazanın kimyasal maruziyet sonuçlarını hafifletmek;
- İş kazalarının oluşmasının önüne geçilmesi için tedbir alınmasına rağmen kaza sonucu ortaya çıkan hasarlanmanın hafifletilmesini, meydana gelme ihtimalinin azaltılmasını sağlamak için mümkün olan tüm önlemleri almaktır (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2007).

Güvenlik tedbirlerinin emniyet açısından önemli derecede yapısal sistem ve bileşenlerin tasarımına zarar verebilecek dahili ve harici olayların meydana gelmesi durumunda bile madenin emniyetli vaziyette kalmasını sağlayacak şekilde tedbirlerin alınması garanti altına alınmalıdır.

#### Terminoloji ve Kavramlar:

**Güvenlik Bariyeri;** terimi güvenlik aleti veya diğer bir önlemin verilen kaza zincirini önlediği, azalttığı veya durdurduğunu açıklamak için kullanılır (Şekil 7.1).



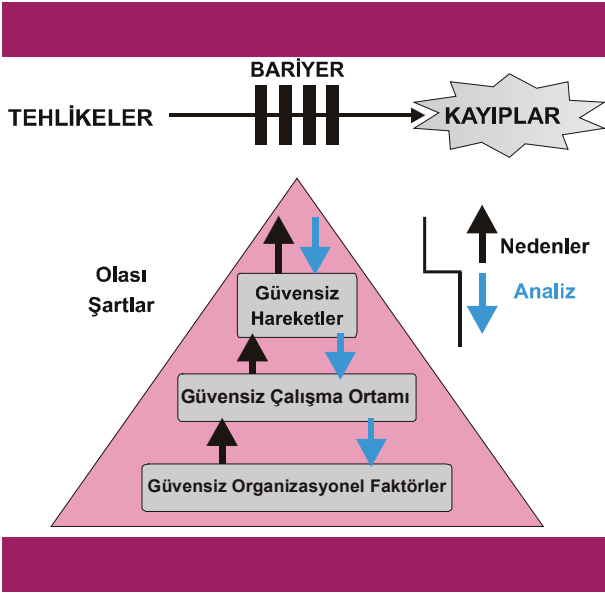
Şekil 7.1 Güvenlik bariyeri konsepti

Güvenlik Bariyer teoremi ilk defa 1984 tarihinde Taylor tarafından geliştirilmiştir, Taylor'a göre bir sistemde zarar verici herhangi bir olaya neden olabilecek bir durumun oluşmasını engellemek için mutlaka sistemde uyarı verecek bir alarm veya bir duvar, kalkan veya kilit vb. bir engel ya da operasyonel kontrol sistemi bulunmalıdır. Eğer sistemde dış etkileri önleyecek mekanik bir bariyer veya tehlikeli enerji veya zehirli maddenin yayılımını engelleyecek mekanik bariyerler yok ise endüstriyel tesiste kaza olmaması mucizedir (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Taylor 1994'de analizle ilgili detayları içeren bir yayın yapmış ve tekniğin daha geniş bir açıklamasını yapmıştır. Bu prosedüre göre Güvenlik Bariyeri Analizi'nin amacı aşağıda verilmiştir;

- Gerçekleşebilecek personel ve makine, teçhizat ile ekipman hatalarını ortadan kaldırmak,
- İş kazası ile mal hasarı ortaya çıkmasına mani olan fiziksel önlemlerin etkinliğinin her koşulda devamını sağlamak,
- Bu fiziksel önlemlerin işlevselliğini yerine getirememesi durumunda da personelin, halkın, tesisin veya çevrenin zarar görmesini engellemektir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2007).

Güvenlik Bariyer diyagramları çeşitli şekilde oluşturulabilir, ancak en doğru ve sık kullanılan şekli, yöntemi geliştiren Taylor'un 1994 yılında hazırladığı prosedürde belirtilen şeklidir. Analize tehlike kaynağı/kaynaklarından başlanır ve tehlike kaynağına karşı konulan tüm bariyerler listelenir. Analizde tehlike kaynağını sınırlayan bariyerin güvenilirliği ve kasıtlı olarak devre dışı bırakılabilme ihtimalleri belirlenmeye çalışılır. Şekil 7.2'de belirtildiği gibi analiz yapılırken sadece bariyerlerin etkisiz olma durumu araştırılmaz, aynı zamanda ek bariyer gerekip gerekmediği ya da mevcut bariyerin başka bir bariyerle değiştirilmesinin gerekip gerekmediğinin de araştırması yapılır (Özdilek İslamoğlu, 2007).



Şekil 7.2 Güvenlik Bariyeri Analizi Kaza Önleme Yaklaşımı

### I. Aşama: Hazırlık:

Güvenlik Bariyer Analizi risk değerlendirme ekibinin kaza sürecindeki her bir adıma bakmaları ve daha detaylı bilgi almaları gereklidir. Risk değerlendirme çalışmasını, madendeki yetkili iş sağlığı ve güvenliği uzmanlarından deneyimli olan uzmanlar gözden geçirmelidirler. Amaç süreçlerdeki faaliyetlerin doğruluk ve bütünlük için değerlendirmesini yapmak ve olası hataların tanımlamalarını yapabilmektir.

Risk değerlendirmesinin ilk aşamasında, olası hata/bozuklukların tespit edilmesi ve şiddetin belirlenmesi sürecidir. Tanımlama aşaması bariyer analiz yönetimi açısından en önemli aşamadır. Bu nedenle tüm kaza araştırmacıları, hataları belirleme konusunda eğitim almalıdır. Kök nedenleri tanımlamada en kritik faktörlerden birisi “süreçlerin analiz edilmesi” olduğu unutulmamalıdır. Bunun içinde “Akış Şemaları” yardımcı bir ekipman olarak karşımıza çıkmaktadır. Süreç analiz faaliyetleriyle ilgili olarak;

- Kaza esnasında bu faaliyeti ilk gerçekleştiren veya olayı başlatan nedir?
- Madende bu eylem her zaman gerçekleştirilen bir eylem midir?
- Kaza esnasında neden bu eylem bu şekilde yapıldı?

- Kaza esnasında bu faaliyeti nasıl ölçülebilir veya analiz edilebilirdi?

gibi sorulara cevap verilir. Bu tür sorulara verilen cevaplar amaca yönelik oluşturulan bir proses analizi formu içinde kaydedilir.

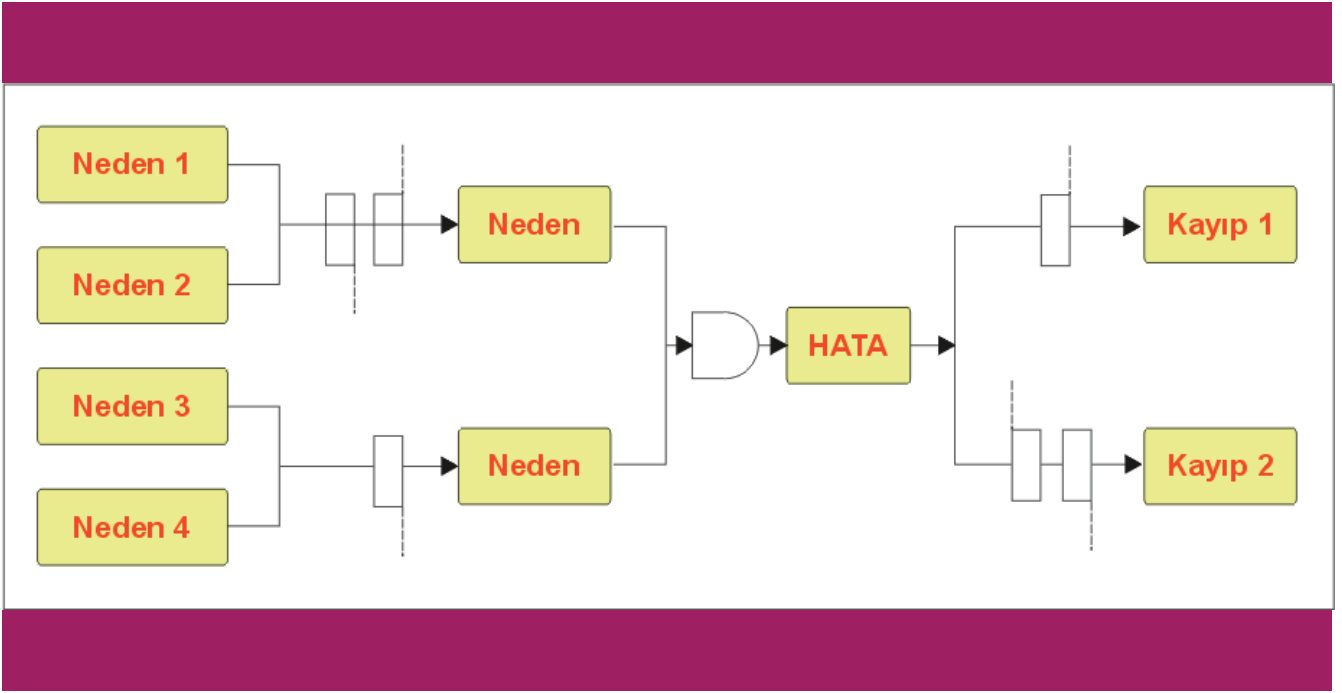
### II. Aşama: Diyagramın Oluşturulması:

Güvenlik diyagramı, bir güvenlik önleminin olay sıralamasında hata vermesi durumunda kaza meydana geleceğini öngörmektedir. Bu aşama hata/bozuklukları meydana getiren tüm sorunların belirlenmesi aşaması olup; hata/bozuklukların etkili şekilde ortadan kaldırılması için en kritik basamaktır.

Kök nedenler kaza meydana geldikten sonra doğru olarak tanımlanmaz ise kaza araştırma süreci etkin olarak işleyemeyecek ve tekrar ilk aşamaya dönülecektir. Bu durum, kazanın tekrarlanmasına ve kazanın doğuracağı maliyetlere katlanılmasına sebep olacaktır. Kaza ile ilgili nedenlerin tanımlanması ve nedenleri tespit edilen hata/bozuklukların ortadan kaldırılmasına yönelik alternatif çözüm önerilerinin belirlenmesi ile analiz edilmesi bu aşamanın konusudur. Bu aşama kritik faktörlerin, tüm çözüm önerilerinin istatistiksel yöntemler kullanılarak ölçülebilir hale getirilmesidir (Özdilek İslamoğlu, Ö., 2007).

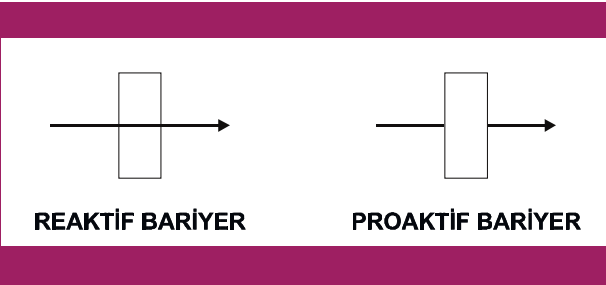
Güvenlik bariyer diyagramının oluşturulması Hata Ağacı Analizini andırmaktadır. Nedenler ve başlangıç olayları sol tarafta, kayıplar ise sağ tarafta gösterilir. Eğer iki veya daha fazla neden mevcut ise, nedenler aynı hata ağacı analizinde olduğu gibi “VE” ve “VEYA” mantık kapıları ile birbirlerine bağlanır. Güvenlik Bariyer diyagramını, Hata Ağacı Analizi ve Olay Ağacı Analizinden ayıran en önemli özellik, neden araştırması yaparken, olası kazaları engellemeyi amaçlayan mevcut bariyerlerin de tespit edilmesidir. Tespit edilen mevcut bariyerler diyagram üzerinde gösterilir.

Güvenlik bariyer diyagramı yapısı Şekil 7.3'te gösterilmiştir. Nedenler sol tarafta, hata veya bozukluklar merkezde yer alacak şekilde ve kayıplar sağda yer alacak şekilde bir yapılanma içermektedir.



Şekil 7.3 Güvenlik Bariyer Diyagramı Gösterimi

Güvenlik Bariyer Diyagramında iki tip bariyer mevcuttur (Şekil 7.4).

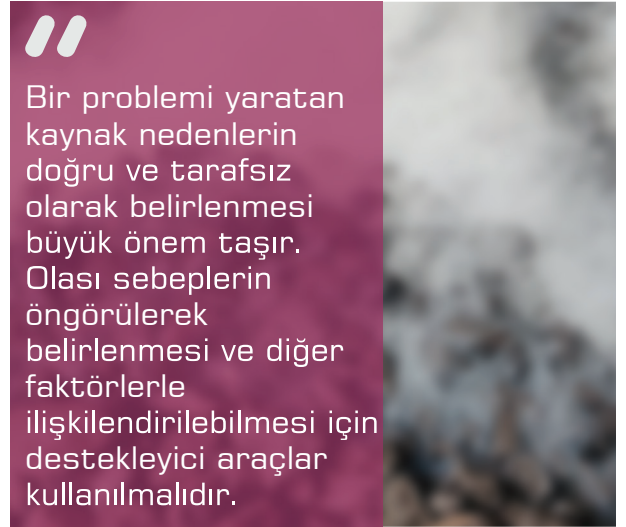


Şekil 7.4 Bariyer Tipleri

Herhangi bir sistemde oldukça fazla sayıda tehlikeli durumun bulunması yöntemin uygulanmasındaki güçlüklerden biridir. Analiz edilecek durum sayısı uygun bir gruptandırma ile azaltılamadığı durumlarda çok sayıda diyagram oluşturulması zorunlu olabilir.

### III. Aşama: Değerlendirme:

Bu aşamada tespit edilen kök nedenler ile ilgili problemin çözümüne yönelik alternatif tedbir önerilerinin tanımlanması sürecidir. Bu aşamada alternatif çözüm tedbirleri arasından problem çözebilecek en uygun çözüm seçilmelidir. Problemin, maden kaynaklarının imkanlarına bağlı olarak, birden fazla önlem alternatifinin aynı anda hayata geçirilerek daha etkili olarak çözüm sağlanması mümkün olabilir.



**Tablo 7.1** Güvenlik Bariyer Analizi Frekans Dağılımı

KATEGORİ	AÇIKLAMA
6	<b>Sık Sık Tekrarlanan Olay</b> Haftada iki veya daha fazla
5	<b>Normal Olay</b> Yılda birkaç kez
4	<b>Alışılmamış Olay</b> Yılda bir kereden az
3	<b>Nadir Olay</b> 1- 10 Yılda bir kereden fazla
2	<b>Seyrek Olay</b> On yılda bir kez
1	<b>Çok Seyrek Olay</b> Milyon yılda bir kez
X	<b>Frekans Tahmin Edilemez</b> Sadece sabotaj, terörizm vb.

**Tablo 7.2** Güvenlik Bariyer Analizi Şiddet Dağılımı

KATEGORİ	AÇIKLAMA
1	<b>Sonuç İhmal Edilebilir</b> Yaralanma ve kargaşa yok
2	<b>Önemsiz Sonuç</b> Küçük oranda kargaşa yaratır
3	<b>Belirli Sonuç</b> Ekipmanda hata ve kısmi zarar, üretimde kargaşa, yaralanma
4	<b>Önemli Sonuç</b> Yaralanma ve ekipmanda hasar
5	<b>Büyük Kaza</b> Kaza sonucu ölüm ve ekipmanda büyük zarar

**Tablo 7.3** Güvenlik Bariyer Analizi Örnek Bariyer Puanlaması Tablosu

BARİYER	AÇIKLAMA	RİSK AZALTIM PUANI
Yangın Duvarı ve Yangın Söndürme Tertibatı	Diğer bölümlere yangının yayılmasını en az 60 dakika önler.	10
Duvarla Çevirme	Duvar olabilecek en büyük hacmi içerde tutar.	8
Su Deposu ve Sprey Sistemi	En büyük hacmin oluşması durumunda gerekli olan su miktarının bulundurulması.	6
Patlama Diski	Basıncı atmosfere atar.	6
Güvenlik Basınç Valfi	Basıncı atmosfere atar.	6
Otomatik Alarm	Güvenlik önlemini etkinlikle başlatır.	6
Acil Durum Kapatma Valfi	Güvenlik önlemini etkinlikle başlatır.	4
Manuel Alarm	Sürekli kontrol odasında bulunan operatörü uyarır ve operatörün gerekli güvenlik önlemlerini manuel olarak başlatmasını sağlar.	4
Düzenli Denetim	Özenli olarak denetim yapılması ve spesifik ekipmanların teftiş aralıklarının belirlenmesi.	4
Geri Dönüşsüz Valf (Çekvalf)	Boruda akışın sadece bir yönde olmasını sağlar.	2

Tablo 7.3'te sunulan puanlar, Güvenlik Bariyer Analizi için örnek olarak verilmiştir. Bu puanlamanın anlamı, riski ne ölçüde düşürdüğünü gösteren ağırlık oranıdır. Daha iyi anlaşılabilmesi için şu şekilde bir örnek verilebilir: incelenen işletme bir kömür madeni ise bu durumda limit seviye alarm sistemi kritik önem taşıyan bir tedbirdir. Tüm ağırlık ölçeği 10 tam puan üzerinden düşünülecek olursa; Tablo 7.3'te verilen yangın duvarı bariyer önerisi kadar önemli bir tedbirdir. Dolayısıyla madeni analiz eden uzman tarafından bu önlemin ağırlık oranı 10 olarak alınabilir. Risk Azaltma Faktörü (Risk Reduction Factor) yani Risk Azaltma Ağırlık oranları ile ilgili birçok kaynak mevcuttur. Bu kaynaklar incelenilerek ilgili maden için alınacak önlemlere ağırlık oranları verilebilir, Tablo 7.4'de bununla ilgili bir örnek paylaşılmıştır (Özdilek İslamoğlu, 2014).

**Tablo 7.4** Bariyer Diyagramı Risk Matrisi

FREKANS (F)	FREKANS PUANI		BARIYER PUANLAMASI				
	1	2	3	4	5		
Tekrarlanan Olay	6	2	6	10	14	18	
Normal Olay	5		3	7	11	15	
Alışılmamış Olay	4		1	5	9	13	
Nadir Olay	3			1	5	9	
Seyrek Olay	2				1	5	
Çok Seyrek Olay	1					1	

ŞİDDET (C)	1	2	3	4	5
		İhmal Edilebilir	Önemsiz	Belirli	Önemli

Tablo 5'te yer alan bariyer diyagramı risk matrisinde yer alan frekans ve şiddet değerlendirmesi her bir kök neden için ayrı ayrı yapılır. Ayrıca her bir kök nedenden sonra bariyerler üzerine risk azaltma faktörleri yani ağırlık oranları yazılır.

Örnek olarak; diyelim ki bir kök nedenimizin frekansının "Normal Olay" (5) ve şiddetinin "Önemli" (4) olduğunu düşünelim. Bu durumda bariyer puanlaması "11" çıkmaktadır. Bariyer diyagramında ilgili kök nedenden "Kayıp" yani istenmeyen sonuca kadar giden dal üzerinde 11 puanı sağlayan bir bariyer olması gereklidir. Aksi durumda yeterli önlem olmadığı şeklinde değerlendirilecektir. Bariyer puanının fazla olması ise bize o kök neden için güvenlik tedbirlerinin olması gerekenden daha iyi durumda olduğunu gösterecektir. Bu kök neden analizi yaklaşımı ile hem eksik koruma katmanları analiz edilmekte hem de eksik önlemlere karşı alınacak aksiyonlar ortaya çıkarılmaktadır.

## 7.4. Papyon Analizi

İşyerlerindeki kazaların yüzde yüz başarıyla önlenmesi mümkün olmayabilir ancak, oluşacak hasarı en az seviyede atlatmak için önlemler alınabilir. Papyon Analizi (Bow Tie Analysis) iş kazası ve meslek hastalığı incelemesinde kullanılabildiği gibi bir tesis veya sistemde mevcut tehditlerin kazaya neden olma ihtimallerinin ve bu ihtimaller ile sonuçları arasındaki ilişkinin kolaylıkla belirlenebilmesi için geliştirilmiş bir yöntemdir (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Bu yöntemde kritik sistemlerde veya faaliyetlerdeki tehlikelerin içerdği risk seviyeleri belirlenmeye

çalışılırken aynı zamanda bu tehlikelerin kontrolü için gerekli bariyerlerin başarı derecesi de değerlendirilmektedir. Papyon Analizi Yöntemi, iş sağlığı ve güvenliği profesyonelleri ile teknik personelin bir tesis veya sistemde uygulamaları gereken etkili proaktif ve reaktif bariyerleri başarı ile tespit etmelerini sağlamaktadır. Yine bu teknik ile meydana gelmiş bir kazanın incelenmesi esnasında kontrol önlemlerinin neden işe yaramadığının araştırması da yapılabilmektedir (Özdilek İslamoğlu, 2007).

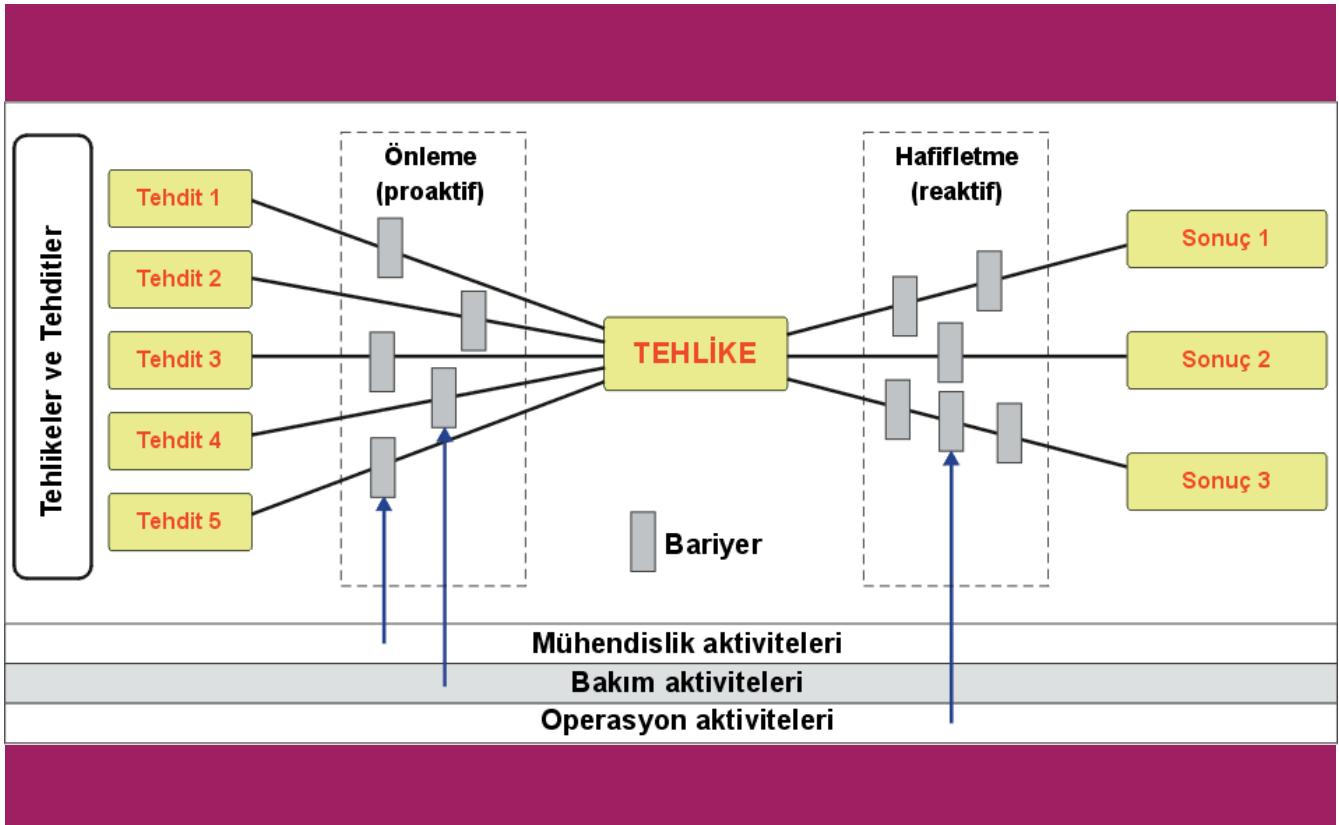
Papyon yönteminde esas olan, bir kazayı veya istenmeyen bir olayı ortaya çıkaran tehditlerin ve tehlikelerin ortaya konmasıdır. Ayrıca analiz esnasında söz konusu olayda kontrol önlemi olarak mevcutta bulunan önlemlerin hem reaktif veya proaktif olup olmadıkları hem de domino etkisi ile neden yıkıldıkları mercek altına alınır. Bu analizin en önemli avantajı isteğe bağlı olarak hem nitel hem de istenirse nicel olarak gerçekleştirilebilmesidir (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Papyon analizi; bariyer analizine eşdeğer bir yöntemdir, ancak uygulanması açısından bariyer analizinden daha farklı aşamalar içerir. Bu teknik ilk defa 1990 yılında Bishop tarafından telaffuz edilmiştir. Ancak bu metodun grafiksel tasarımını ve

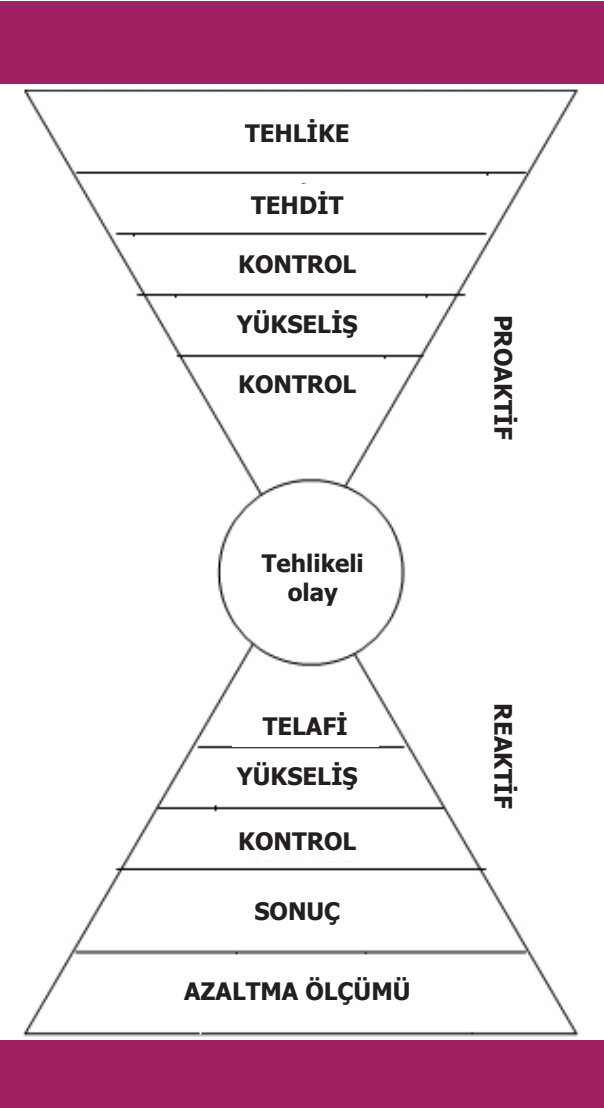
sistemsel olarak geliştirilmesi ilk defa 1999 yılında Edwards ve Zuijderduijn tarafından yapılmıştır. Edwards ve Zuijderduijn, Papyon Yöntemini geliştirirken Hata Ağacı Analizi ve Olay Ağacı Analizini örnek olarak geliştirmişlerdir ancak bu yöntemde diğer iki teknikten farklı olarak reaktif ve proaktif önlemlerin belirlenmesi ve etkinliklerinin de gözden geçirilmesi yapılmaktadır. Günümüzde bu tekniğin grafiksel olarak çizilmesi, tasarımı ve önlemlerin seçimi için kullanılan özel yazılımlar bulunmaktadır (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Papyon analiz diyagramlarının oluşturulması, işaretlenmesi, sembollerin kullanımı ve hesaplama için iki farklı yöntem kullanılmaktadır. Şematik hesaplama için en uygun diyagramların seçimi ve normal şartlardan sapma durumu için kök sebeplerin tanımlanmasında kullanılır (Şekil 7.5).

Papyon metodunda öncelikle kaza ile ilgili araştırılmakta olan riskin tanımı yapılır ve tehlike ile risk faktörünü belirleyen kıstaslar ortaya çıkartılır. Ortaya çıkan kazayı meydana getiren tehlikeler ve bu tehlikelerin meydana gelmesi sonrasında ortaya çıkan hasarın analizi gerçekleştirilir. Şekil 7.6'da ise yönetime yönelik uygulama şablonu sunulmuştur (Özdilek İslamoğlu, 2007).



Şekil 7.5 Papyon (Bow Tie) Süreç Analiz Diyagramı yapısı



Şekil 7.6 Papyon Analizi Uygulama Şablonu

#### Papyon Tekniği Uygulama Aşamaları:

Papyon metodu aslen bir kök neden analizi tekniğidir ve tüm kaza tiplerini incelemek için çok kullanışlı ve iyi bir tekniktir. Ayrıca; iş, ekipman, sistem ve proses tasarım, süreç analizi konularında hatalar meydana gelmeden tanımlamayı ve ortadan kaldırmayı veya en azından proses ve sistemdeki tehditlerin etkilerini ortadan kaldırmayı hedefleyen en iyi mühendislik yöntemi olarak kabul edilir (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Papyon tekniği, sonuca etki edebilecek tüm “kök nedenler” arasındaki bağlantıyı ortaya çıkarmak maksadı ile geliştirilmiş bir tekniktir. Belirli bir hasara neden olan kök nedenleri keşfetmeye ve bunların sonuçlarını belirlemeye yönelik bir analiz tekniğidir.

Bu teknik uygulama açısından “Neden Sonuç Analizi”ne benzemektedir, ancak uygulama şekli

ve bakış açısı Neden Sonuç Analizinden oldukça farklıdır. Bu metodu neden sonuç analizinden ayıran en önemli husus, Papyon yönteminde tespit edilen tehditler ve kritik durumları önlemek üzere işletmede mevcut olan bariyerler ile eklenmesi gereken bariyerlerin de analiz edilmesidir.

#### I. Aşama: Tehditlerin Belirlenmesi:

Papyon yöntemi, kazayı meydana getiren tehditleri tanımlamaya veya kritik durumların etkilerini azaltmaya yönelik bir tekniktir. Papyon risk analiz metodu uygulanmasının ilk aşamasında araştırma ekibi tarafından olaya neden olan tehditler ile tehlikeler bir liste yardımı ile belirlenmeye çalışılır, bu tehditler aşağıda verilmiş olan tehditlerden biri olabilir:

- **Kimyasal Maddeler Kaynaklı Tehditler;** korozif (aşındırıcı), ağartıcı, zehirli, kanserojen, tahriş edici yanıcı, parlayıcı, patlayıcı, zehirli, tehlikeli ve zararlı tüm kimyasal maddeler,
- **Fiziksel Tehlikeler;** kinetik ve potansiyel enerji tehditleri (çarpma, düşme, asılı yükler, tahrip edici mekanik aksam), sıcaklık, yüksek basınç ve vakum, nem, hava akım hızı, titreşim, gürültü, aşırı veya yetersiz aydınlatma, elektrik, manyetik alan, kriyojenik (donma ile ilintili) malzeme ve ortamlar, iyonlaştırıcı radyasyon, vb.
- **Biyolojik Tehditler;** çalışmada hastalık yapma ihtimali olan mikroplar, bakteriler, virüsler vb.
- **Biyomekanik Tehditler;** yük kaldırma, çekme, itme gibi kas ve iskelet sistemine zarar veren işler, ergonomik olmayan çalışma ortamları, vb.
- **Çevresel Etki Tehditleri:** sabotaj, sel, deprem, dolu, yıldırım vb.
- **İnsan Faktörü:** personel ilişkileri ile çalışanlar arasındaki uyumsuzluklar, dikkatsizlik, iletişim eksikliği, stres, depresyon vb.

Bu noktada her bir tehdidin tek bir etkisi ve sebebi olabileceği gibi etkiler ve sebepler birden fazla da olabilir ve çalışmaların çoğunda karşılaşılan durum da bu yöndedir. Örneğin çok yüksek dozda radyoaktif ışımaya maruz kalan bir kişide kısa dönemde dokuların yanarak ölmesi şeklinde belirtileri ortaya çıkabileceği gibi uzun vadede kansere yakalanma riski de oluşmaktadır.

## II. Aşama: Kazalar / Kritik Durumlar:

Tehlike kaynaklarından tümüyle arındırılmış bir maden işletmesi kurmak mümkün değildir. Tüm risklerin azaltılması, kabul edilebilir düzeylere indirilmesi imkansız olması sebebi ile mümkün olan en iyi seviyeye indirilmeye çalışılmalıdır. Yani kazaya sebep olabilecek tehlike kaynaklarının meydana gelme ihtimali düşürülebilir, ortaya çıkabilecek hasar veya yaralanmanın şiddeti ile etkileri düşürülebilir (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Papyon yöntemi, kazalara neden olabilecek kök nedenleri belirleyerek kazaların meydana gelmesini engellemeyi hedefler. Bu şekilde söz konusu kazayı yaratan sorunlar belirlenerek gerekli tedbirlerin alınmasıyla, aynı türde kazaların tekrar ortaya çıkması engellenmeye çalışılır (Özdilek İslamoğlu, 2007).

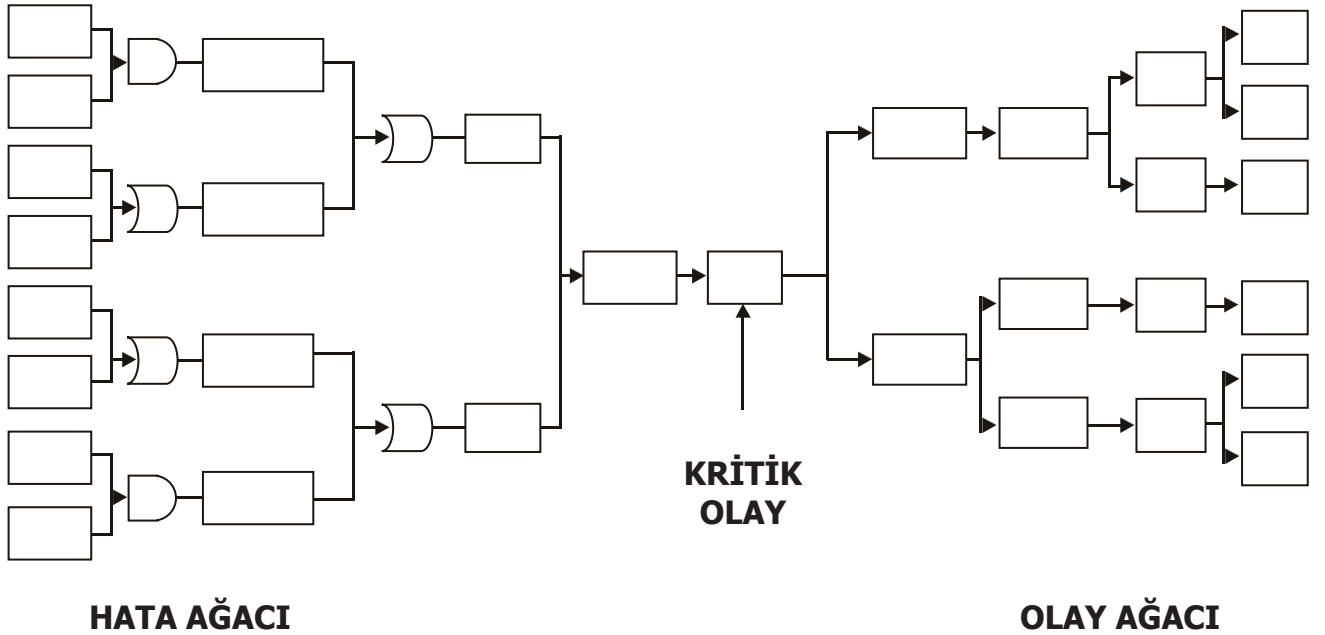
Bu aşamada öncelikle tesiste oluşabilecek kazalar ve istenmeyen kritik durumlar tahmin edilmeye çalışılır. İş sağlığı ve güvenliği ve çevre ekibi tarafından tesiste daha önceden yaşanmış veya benzer tesislerde yaşanmış kaza ve olaylar da incelenmelidir.

## III. Aşama: Papyon Diyagramının Oluşturulması:

Papyon Analizi diyagramında sol tarafta hata ağacı ve sağ tarafta ise Olay Ağacı olmak üzere iki yönlü analiz olanağı sağlayan bir diyagram yapısına sahiptir. Hata Ağacı Analiz diyagramları ile Olay Ağacı Analiz diyagramları hem önleyici hem de kazayı analiz etme aracı olarak kullanılmaktadırlar.

Hata ağacı ile Olay Ağacı analizleri grafiksel teknikler olup, incelenen kazaya neden olabilecek tesisat, makine, ekipman, süreç veya proses ile çalışan hatalarının kombinasyonlarını gösterir. Hata ağacı analizi, istenmeyen olayın kök nedenlerini grafiksel olarak ele alan ve olayın gelişimini gösteren bir teknik olarak da tanımlanabilir. İş kazasını oluşturan tesisat, makine, ekipman, süreç veya proses problemlerine ve personel hatalarına göre; “İnsan Hataları”, “Tesisat, Ekipman, Makine veya Malzeme Hataları”, “Görevin Uygun Olmama veya Zorluğunun Getirdiği Riskler” ile “Ortam Şartları İle İlgili Riskler” gruplamaları altında incelenebilir (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Olay Ağacı Analizinde ise başlatıcı bir olay sonrasındaki bu Papyon analizindeki (Bow Tie Analysis) “Kritik Olay” a denk gelmektedir. Söz konusu sistem veya ekipmanda mevcut bulunan güvenlik sistemlerinin başarı veya başarısızlıkları durumunda sistemin nasıl davranacağı incelenir (Şekil 7.7).



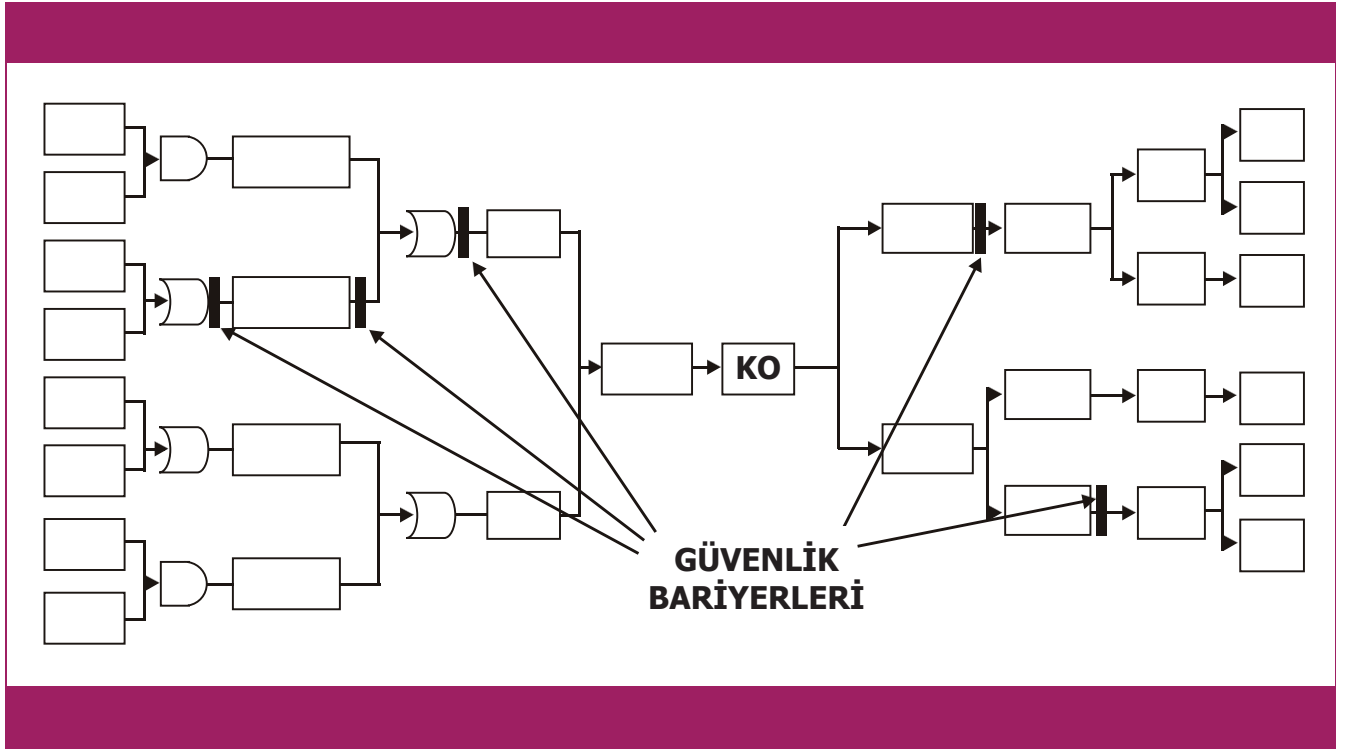
Şekil 7.7 Papyon diyagramının oluşturulması

Tesiste meydana gelebilecek kazalarda, tüm kademelerde yer alan çalışanların yetenekleri, tehditleri ve işteki diğer etmenler “Hata Ağacı Analizi Yöntemi” ile analiz edilir. Olay Ağacı Analizi ise sistem veya işlem sürecinde yer alan sistemlerin yeterli ya da yetersiz olup olmadığının değerlendirilmesinde kullanılmaktadır.

Papyon analizinin en büyük avantajı ise sistem veya ekipmanda mevcut olan güvenlik sistemlerinin yanında, yine süreçleri kontrol altında tutmak

amacı ile kullanılan bariyerlerinde yeterliliklerinin değerlendirilmesine fırsat sağlar.

Bu metodolojide bir analiz esnasında proaktif tehditlere yönelik ve reaktif iyileştirmelere yönelik olmak üzere asgari kaç adet bariyerin bulunması gerektiği de belirlenmiştir. Analizi uygulama aşamasında bu özelliğe, analizi uygulayan uzman tarafından özellikle dikkat edilmesi gerekmektedir (Şekil 7.8).



**Şekil 7.8** Papyon Analizi diyagramının uygulanması

#### IV. Aşama: Kontrol Fonksiyonlarının Seçimi:

Bu metotta Papyon Diyagramı oluşturulurken, tehditlerin kritik olayı veya analiz edilen kazayı meydana getirmemesi için gereken kontrol fonksiyonları da belirlenmeye çalışılır. Kritik olayın sol ve sağ tarafında bulunan proaktif tedbirlerle sağ tarafında bulunan reaktif tedbirler için Tablo 7.5’te verilen asgari bariyer sayısı gözetilir. Eksik bariyer olması durumunda ise gereken ilave bariyerler önerilir (Özdilek İslamoğlu, 2014).

**Tablo 7.5** Papyon yöntemine göre uygulanması gereken asgari bariyer adedi

RİSK SEVİYESİ	PROAKTİF	REAKTİF SONUÇLARA/İYİLEŞTİRMEYE
	TEHDİTLERE YÖNELİK	YÖNELİK
	ASGARİ BARIYER ADEDİ	ASGARİ BARIYER ADEDİ
Yüksek	3 +	2 +
Orta	2 +	2 +

## 7.5. Hata Ağacı Analizi

Dünyada uzun süre boyunca yapılan çalışmalar sonucunda aynı türdeki kazaların tekrarlanması veya bunların ortak kök sebepler göstermesi, özel kaza bertaraf önlemlerinin gerekli olduğunu ortaya çıkarmıştır. Bu tekniklerden en çok bilineni ve en çok kullanılanı “Hata Ağacı Analizi”dir (Fault Tree Analysis – FTA) (Özdilek İslamoğlu, 2005).

1961 yılında ilk kez HA Watson tarafından, Hata Ağacı Analizi tekniği Minuteman füzelerinin güvenilirliğini değerlendirebilmek maksadı ile Bell Laboratuvarları’nda geliştirilmiştir. Bu teknik ile karmaşık proseslerin çalışmalarında öngörülemeyen hataları tanımlamak mümkün hale gelmiştir. Bu teknik Boeing firmasında mühendis olan Dave Haas tarafından geliştirilmiş ve bugün de kullanılan şematik ve mantık matematiği ile kullanılan teknik haline getirilmiştir (Özdilek İslamoğlu, 2005).

ABD Savunma Bakanlığı balistik füzeler gibi askeri sistemlerin güvenilirlik ve güvenliğini geliştirebilmek maksadı ile ilk defa 1962 yılında güvenilirlik ve kullanıma amadelik ile ilgili, standartı “Ballistics Sys Div Exhibit 62-41”i yayınlamıştır. Bu standart güvenilirlik, kullanıma amadelik ve güvenlik alanındaki gelişmelerin önünü açan ilk standart olmuştur (Özdilek İslamoğlu, 2005).

Washington Üniversitesi’nin finansal desteği ile gerçekleştirilen sistem güvenliği konferansında Seattle’da Boeing firması 1965 yılında “Hata Ağacı Analizi” ile ilgili çalışmalarını duyurmuş ve makale olarak yayınlamıştır. Bu makale proses ve sistem güvenilirliği ve güvenliği ile çalışan bilim adamlarının büyük ilgisini çekmiştir. Boeing firması tarafından geliştirilen BACSIM adı ile anılan simülasyon yazılımında temel yöntem olarak çok fazlı Hata Ağacı Analizi kullanılmıştır (Özdilek İslamoğlu, 2007).

27 Ocak 1967 tarihindeki APOLLO I kazasından sonra NASA’da kaza ile ilgili çok yaşanmış ancak sonrasında yeni projelerde birlikte çalışmak üzere Boeing firması ile irtibata geçilmiştir. NASA, daha güvenli olabilmek adına Mercury ve Gemini programlarının başlangıcından itibaren yeni projelerde hata ağacı analizini kullanmıştır, hatta bu tekniği daha da geliştirmiş ve Boolean Matematiği ile kullanmıştır (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Yeni üretime geçmek üzere olan bir sistem veya proseste veya işyerinde önemli olan sistemin ve çalışanların güvenliğini sağlamaktır. Hata Ağacı Analizi gibi kantitatif analizler, büyük endüstriyel kaza sonuçları olan olayların en başından itibaren tespit edilmesini, tanımlanmasını sağlayabilir (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Emniyeti sağlamak maksadı ile bir tesisteki tüm sistemlerde meydana gelebilecek olan hataların tiplerini ve bunların makine, proses, tesisat, ekipman ya da personele etkilerini tespit edebilecek bir risk değerlendirmesinin yapılması şarttır. Bir hata ile karşılaşıldığında ilk olarak yapılması gereken şey o sorunu oluşturacak kök nedeni ve hatanın şiddetini belirlemektir. Böylelikle kök nedeni tanımak daha rahat olur ve hataya karşı ne tipte tedbirler alınabileceği de daha rahat bir şekilde belirlenebilir. Ayrıca, kök nedenleri tespit edilememiş sorunların daha başka sorunlar doğmasına neden olacağını söylemekte fayda bulunmaktadır. Söz konusu hataları genel olarak şu şekilde gruplandırılabilir (Özdilek İslamoğlu, 2007):

- **Meydana Geldiği Aşamaya Göre Hata Sınıflandırması:**

**Tasarımı İlgilendiren Hatalar:** Proses kaynaklı zorlanma, tasarımsal dayanıklılığın aşılması nedeni ile ortaya çıkan hatalar,

**Proses İlgili Hatalar:** Proses dizayn özellikleri, üretim sürecindeki hatalar,

**Kullanma Kaynaklı Hatalar:** Normal çalışma şartlarından sapma kaynaklı aşırı zorlama veya periyodik bakımla ilgili hatalar.

- **Sonuçlarına Göre Hata Sınıflandırması:**

**Felakete Sebep Olabilecek Hata:** Ölümüne ve çok büyük sistem hasarına yol açan hatalar,

**Kritik Sistem Hatası:** Personelde uzuv kaybı, yaralanma, maddi hasar veya mal, sistem hasarına neden olabilen hatalar,

**Marjinal Ortaya Çıkan Hatalar:** Çalışmada hafif yaralanma, küçük maddi hasarlanma veya küçük sistem/proses hasarına neden olan hatalar,

**Hafif Hatalar:** Çalışmada yaralanmaya sebep olmayan, maddi hasara sebep olmayan, bakım veya onarım gerektiren hatalar,

**Önemsiz Düzeydeki Hatalar:** Çalışmada veya sistemde, proseste etkileri görülmeyen hatalar.

- **Zamana Göre Değişen Hatalar:**

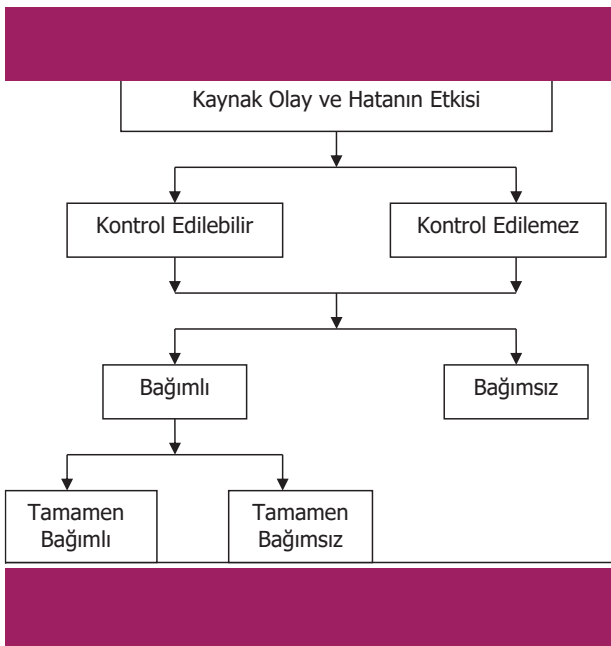
**Ani Ortaya Çıkan Hatalar:** Proses veya sistemin sınırlarını aşması sonucu işlevlerini yerine aniden getirememesi sebebi ile ortaya çıkan hatalar,

**Kademeli Olarak Ortaya Çıkan Hatalar:** Prosesteki ekipman, teçhizat, makine vb. aşınması, yıpranması, metal yorgunluğu oluşması vb. etkilerinin bir araya gelmesiyle zaman içinde ortaya çıkan hatalardır (Özdilek İslamoğlu, 2007).

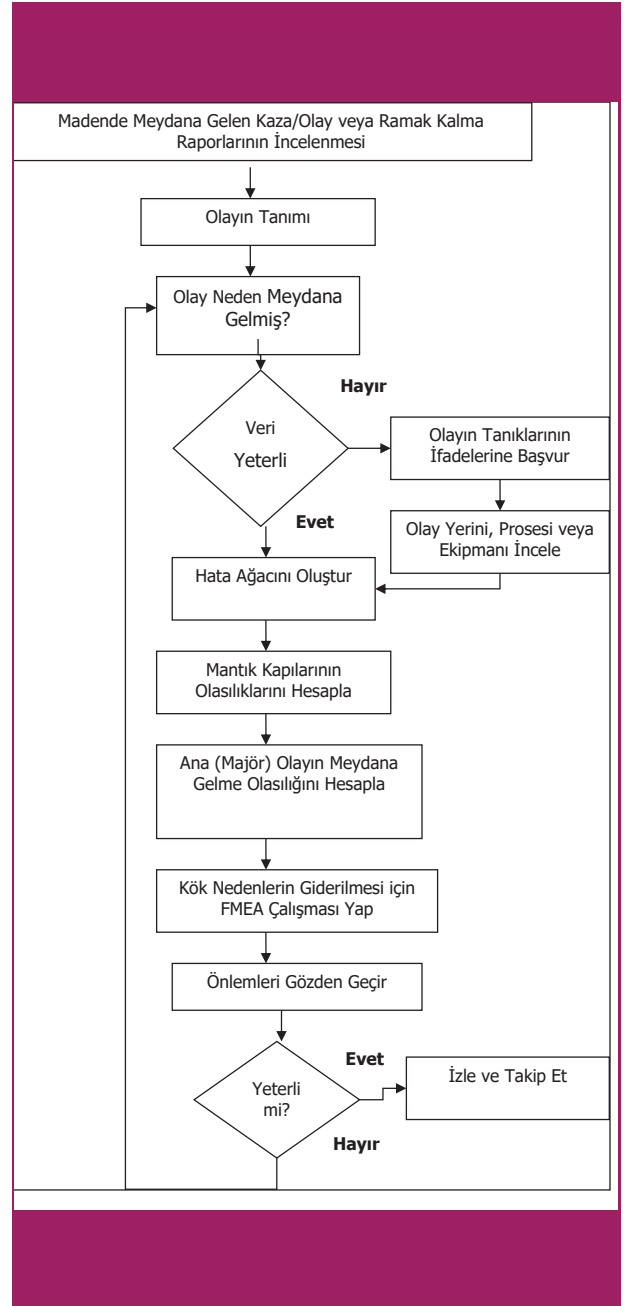
• **Nedenlerine Göre Hatalar:**

- » Çalışandan kaynaklı insan hataları,
- » Ekipman, Teçhizat veya malzemeden kaynaklanan hatalar,
- » Makine emniyeti kaynaklı hatalar,
- » Yöntemin uygun olmaması kaynaklı hatalar,
- » Ölçme ve değerlendirme yöntemlerinin uygun olmaması kaynaklı hatalar,
- » Üst yönetim kaynaklı hatalar.

Maden işletmesindeki makine veya operasyondaki hataları tespit ederken, hatanın önlenabilir olup olmadığını ve kök nedenlerin birbiri ile bağımlılık durumunu tespit etmek şarttır (Şekil 7.9). Söz konusu adımda hatanın mekanizmasını, bu sorunu doğuran kök nedenlerin ihtimallerini ve ekipmanların, teçhizat veya makinelerdeki tertibatın güvenilirlik derecesini belirlemede uzmanların yardımına Hata Ağacı Analizi koşturmaktadır. Hata Ağacı Analizi adımları Şekil 7.10'da sunulmuştur (Özdilek İslamoğlu, 2007).



Şekil 7.9 Hataları belirlerken izlenecek yol şeması.



Şekil 7.10 Hata Ağacı Analizi aşamalar

Hata Ağacı Analizi, çoğunlukla güvenlik ve güvenilirlik analizlerinde tercih edilen tümdengelim yaklaşım ile uygulanabilen analitik bir yöntemdir. Hata Ağacı Analizi bir işyerinde kaza durumunda sistem ile ilgili kritik hataları veya ana (majör) hataları ve potansiyel karşıt önlemleri şematik olarak analiz ederek gösterebilir. Hata Ağacı Analizi kantitatif bir yöntem olarak bir hatayı alt bileşenlerine ayırarak onu analiz edebildiği için oldukça kullanışlıdır (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Bu yöntemin amacı, sorunların mekanizmalarını, mekaniksel, fiziksel, kimyasal veya personel kaynaklı hata olaylarına neden olabilecek problemleri tanımlamaktır. Bu sebeple bu teknik

literatürde “Neden Neden Ağacı” veya “Kök Neden Ağacı” olarak da tanınmaktadır (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Analiz düzeltici ve önleyici tedbirlerin tanımlaması aşamasında Olası Hata Türü ve Etkileri Analizine ihtiyaç duyar, bu sebeple de genellikle bu iki analiz tekniği birlikte kullanılır. Bu teknik muhtemel alt nedenleri mantıksal bir diyagram vasıtası ile şemalaştırarak analiz eder, güvenilirlik ve ihtimal ile istatistik teoremleri ile birlikte kullanılır. Ayrıca daha sonra bulunan kök sebepler Hata Türü ve Etkileri Analizinde (FMEA) daha detaylı olarak incelenebilir (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Bu teknikte grafiksel olarak personel veya malzeme nedenli hatalarının muhtemel kombinasyonların meydana gelmesi önceden tahmin edilebilir. İstenmeyen hata olayını grafiksel olarak gösterebilir, elde edilen bu mantıksal diyagramlar sayesinde muhtemel hataların nasıl meydana gelebileceği gösterilmiş olur. Elde edilen değerler kantitatifdir, mantıksal diyagram içerisindeki tüm mantık kapılarının ihtimal ve olasılıkları istatistikte kullanılan olasılık teoremleri ve Boole Matematiği (Cebiri) kullanılması sayesinde hesaplanabilir (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Bu analiz FMEA ve neden sonuç analizi diyagramları ile aynı amaçları güdüyor gibi gözükse de uygulamada oldukça farklıdır. Hata Ağacı Analizinde soruna sebep olan tüm nedenler öncelikle sıralanır ve bu nedenlerin herhangi birinin ya da hepsinin aynı anda oluşması durumu ele alınır. Analiz, çözüm önerileri tanımlaması ile başlar ve hataya neden olabilecek ana sorunların araştırılması ile devam eder. Bu teknikte hatanın tespit edilmesinde söz konusu adımlar karmaşık sorunların belirlenmesinde yol göstericidir ve olumsuzlukların oluşma olasılığını değerlendirmeyi amaçlar (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Hata Ağaçları, hiyerarşik olarak adımlar içerir ve bu güvenilirlik, kullanıma amadelik ve risk değerleri açısından sistemi değerlendirmede önemli bir rol oynarlar. Hata Ağacı Analizi de Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) gibi proses, sistem, organizasyon ve dizayn analizine gerek duyar. Proses, sistem, organizasyon ve dizayn analizinin ön koşulları aşağıdaki şekilde özetlenebilir (Özdilek İslamoğlu, 2007).

- Sistemler arası nasıl ilişki bulunmakta,
- Kritik sistemlerin ve elemanların seçilmesi nasıl yapılmakta,
- Kritik işletme koşullarının belirlenmesi nasıl yapılmakta.

Hata Ağacı Analizi her yönden tehlike oluşturan hataların analizini yapar ve mantıksal bir diyagram yardımı ile en büyük hasarı oluşturan kök nedenlerin ve sorunların olası tüm kombinasyonlarını gösterir. Hata Ağacı Analizinde oluşması istenmeyen olayın

kökündeki nedenlere kadar inilerek istenmeyen diğer olası kök nedenler ve onların sebepleri ortaya çıkarılır. Tüm bu kök nedenlerin sebeplerini araştırmada tekniğin kendine münhasır mantık sembollerinden yararlanılır (Özdilek İslamoğlu, 2007).

### Semboller ve Nedensellik İlişkileri

Hata Ağacı Analizinde kullanılan kapı ve sembollerin açılımı aşağıdaki Tablo 7.6 ve Tablo 7.7’de verilmiştir.

**Tablo 7.6** Hata Ağacı kapı türleri

KAPI SEMBOLÜ	KAPI TÜRÜ	ANLAMI
	<b>VE</b> kapısı	Sadece sembol altındaki tüm girdi olayların gerçekleşmesi durumunda yukarıda yer alan olayın ortaya çıkması gerçekleşir.
	<b>VEYA</b> kapısı	Sembol altındaki bir veya birden fazla girdi olaydan en az herhangi birinin gerçekleşmesi durumunda yukarıda yer alan olayın ortaya çıkması gerçekleşir.
	<b>KOMBİNASYON</b> kapısı	<b>N</b> girdi olay içinden en az <b>M</b> tanesi gerçekleşirse baştaki olay gerçekleşir.
	<b>ÖNCELİK VE</b> kapısı	Sembol altındaki bir veya birden fazla girdi olaydan soldan sağa düzeninde oluşursa yukarıda yer alan olayın ortaya çıkması gerçekleşir.

**Tablo 7.7** Hata Ağacı sembol türleri

OLAY SEMBOLÜ	ANLAMI
	<b>DİKDÖRTGEN</b> Mantık kapısı ile bağlı daha basit olayların, elementlerin veya faktörlerin kombinasyonu ile ortaya çıkan olay
	<b>DAİRE</b> Esas olay (yaprak; başlatan olay). Bu sembol birincil durumdaki problem için kullanılır. Daha ileri bir gelişimi gerektirmeyen, işleme gerek duyulmayan temel bir olaydır.
	<b>ELİPS</b> Mantık kapısı ile bağlı yapılması zorunlu olay
	<b>ÜÇGEN</b> Aktarma sembolü. Bağlantı ve birleştirme görevinde kullanılır.
	<b>KARO</b> Sebebi tanımlanmamış ve belirsiz bir son olayı tanımlamaktadır.
	<b>DARALTILMIŞ DAİRE</b> Analizin bu bölümünde daha fazla ilerlemeye ihtiyaç olmadığını işaret eder.

### Hata Ağacı Analizi (FTA) Diyagramının Oluşturulması

Hata ağacının asıl amacı temel personel, ekipman ve çevresel etmenler arasındaki ilişkileri göstermektir, Bu diyagramın oluşturulmasında aşağıdaki adımlar izlenir;

- FTA diyagramının oluşturulması için öncelikle olayın rapor edildiği ve araştırma yapılacak olan proses veya bölümü seç. Gerekirse Blok Diyagramını çiz ve diyagram üstüne bir kutu çizerek bileşenler ve alt bileşenleri listele,
- Proses, makine, ekipman ve bölüm ile ilgili kritik arızalar ve tehlikeleri tanımla,
- Hatanın sebebini tanımla ve muhtemel bütün sebepleri listelenmeye çalış,
- Bir kök nedene doğru ilerle. Her hata için kök nedenlere ulaşana kadar tanımla,
- Her kök sebep için karşıt ölçümleri tanımla,
- Anlaşılabilir bir "Zirve Olayı" teşhis et ve en başa dikdörtgen sembolü içine yaz,
- Birinci-seviye katkısı bulunan olayı teşhis et,
- Zirve olaya katkıda bulunan olayları mantık kapısı ile bağlantı kur,
- İkinci-seviye katkısı bulunan olayı teşhis et,
- Zirve olaya katkısı bulunan ikinci-seviye olaya mantık kapısı ile bağlantı kur,
- Tüm kök nedenlere ininceye kadar tekrarla ve devam et (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Hata Ağacı Analizinin ana amacı grafiksel olarak tespit edilen ara ve kök hata nedenlerinin grafiksel ve mantıksal değerlendirmesini yapmaktır. Zirve olay (top event) analizin en tepesindedir ve incelemesi yapılacak kazanın ne olduğunu ifade eder.

Hata Ağacı Analizi hem kantitatif hem de kantitatif olarak uygulanabilen bir tekniktir. Hata Ağacı Analizi diyagramında kök nedenler ile ara olaylar grafiksel olarak çizilir daha sonra bu kök nedenlerin oluşma ihtimalleri zirve olayın meydana gelme ihtimalinin hesaplama yapmak maksadı ile kullanılabilir. Hata Ağacı Analizinde kök nedenlerin ve ara olayların olasılık ve ihtimallerini hesaplamak maksadı ile genel datalar kullanılabilir ayrıca VE/VEYA kapıları gibi lojik kapılar kullanılır (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Olasılık, bir olayın olma veya olmama ihtimalini 0 ile 1 arasında verir. Eğer olasılık 0 ise olay gerçekleşmez. Olasılığın 1 olması halinde ise olay kesinlikle gerçekleşir.

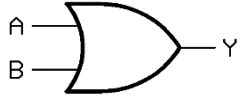
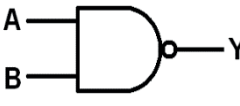
### VE/VEYA kapı hesaplaması:

VE/VEYA kapı hesaplamalarında çarpma ve toplama kuralları uygulanır.

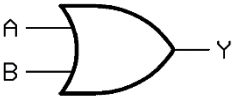
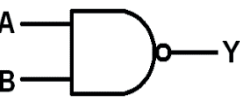
- VEYA Kapısı (Toplama kuralı): A ve B olaylarının birbirini dışlayan olmaları halinde geçerlidir. Ya A olayı gerçekleşecektir veya B olayı gerçekleşecektir.
- VE Kapısı (Çarpma kuralı): A ve B olaylarının birbirinden bağımsız olması durumunda geçerlidir. A olayı ve B olayının bir arada gerçekleşme olasılığıdır.

VE/VEYA kapılarında kök neden ve ara olayların frekans yani beklenen değer ile hesaplama yapılması ya da olasılık üzerinden hesaplama yapılması durumunda kurallar Tablo 7.8 ve 7.9'da verilmiştir (Özdilek İslamoğlu, 2007).

**Tablo 7.8** Temel olasılık kapı bağıntıları

Mantık Sembolü	Boole Matematikliği Bağıntısı	Olasılık Bağıntısı
	$Y = A + B$	$P(Y) = P(A) + P(B) - P(A) \cdot P(B)$
	$Y = A \cdot B$	$P(Y) = P(A) \cdot P(B)$

**Tablo 7.9** Olasılık (P)/Frekans (F) Kapı Hesaplama Bağıntıları.

KAPI	Girdi	Çıktı
	$P_A$ VEYA $P_B$ $F_A$ VEYA $F_B$ $F_A$ VEYA $P_B$	$P_Y = P_A + P_B - P_A \cdot P_B$ $F_Y = F_A + F_B$ İzin verilmez
	$P_A$ VE $P_B$ $F_A$ VE $F_B$ $F_A$ VE $P_B$	$P_Y = P_A \cdot P_B$ İzin verilmez $F_Y = F_A \cdot P_B$

### Hata Ağacının İndirgenmesi:

Hata Ağacı Analizi diyagramlarında kullanılan kök nedenlerin kazanın gerçekten de esas nedenlerini oluşturduğunu anlamak maksadı ile ilgili kök nedene sürekli neden sorusu yöneltilir. Şayet ilgili kök nedene neden sorusu sorulmasına rağmen cevap alınmıyor ise bu kök neden esas nedendir. Sonrasında hatanın olasılığının değerlendirilmesinin yapılması ve daha iyi sonuç alabilmek ve sistemdeki esas hataları tespit edebilmek maksadı ile “Asgari Hata Ağacı” (Minimal Cut Set) hesaplaması yapılması ve sağlamlasını yapmak için de “Mantık Eşit Hata Ağacı”nın (path set) tespit edilmesi gerekir (Özdilek İslamoğlu, 2007).

### Asgari Hata Ağacı (Minimal Cut Set):

**Cut Set:** Bir “Cut Set”, hepsi olduğu takdirde, zirve olayının (top event) meydana gelmesine neden olan herhangi bir hata ağacı grubudur (Özdilek İslamoğlu, 2005).

**Minimal Cut Set:** Bir “Minimal Cut Set” hepsi olduğu takdirde, zirve olayının (top event) meydana gelmesine neden olan “Asgari Hata Ağacı” grubudur (Özdilek İslamoğlu, 2005).

Hata ağacı analizinde “Minimal Cut Set” araştırması neye yardımcı olur?

- Sistemin tanımlanması,
- Sistem zaaflarının azaltılması,
- Sistemin başarılı kılınması (Özdilek İslamoğlu, 2005).

Minimal Cut Set uygulaması yapılırken Boole Matematiği'nin (Boole Cebiri) bilinmesi gerekmektedir. 1 ve 0 matematiği olarak da bilinen, Boole Matematiği, Boole Cebiri, Simgesel Mantık, Matematiksel Mantık gibi isimlerle de anılan mantık matematiği, İngiliz matematikçi George Boole tarafından 19. yüzyıl ortalarında geliştirilen ve o zamana kadar ortaya çıkan sembolik cebir alanındaki yöntemleri mantığa uygulayarak mantık alanında bir devrim yaratmıştır. 1842'de yayımladığı “Mantığın Matematiksel Analizi” çalışması sayısal bilgisayar devreleri tasarımının matematiksel temelini oluşturmuştur. Çeşitli karmaşık işlemler Boole Matematiği'ndeki kanun ve kurallardan ve olasılık teoremlerinden istifade edilerek basitleştirilebilir.

### Mantık Eşit Ağacı (Minimal Path Set):

- **Path Set:** Bir “Path Set”, hata ağacını başlatan bir gruptur ki, meydana gelmediği takdirde zirve olay garanti olarak meydana gelmez (Özdilek İslamoğlu, 2005).

Minimal Path Set'in Bulunması için; “VE” kapılarının hepsi “VEYA” kapıları ile, “VEYA” kapılarının hepsi de “VE” kapıları ile değiştirilir (Özdilek İslamoğlu, 2005).

Path Set'in matrisinin oluşturulması ve prosedürü aynen Cut Set'inki ile aynıdır. Matristen alınan sonuç ise Path Set'dir. Bu Cut Set'den Path Set'e dönüştürme çift yönlü Morgan Teoreminin avantajıdır. Path set, Cut Set'in tamamlayıcısıdır (Özdilek İslamoğlu, 2014).

Hata Ağacı ve Olay Ağacı analizinde boole matematiği ile sadeleştirme yapılarak lojik kapılar vasıtası ile “Rare” hesaplama yöntemi yani nadir olay simülasyonu ile analiz edilir. Hata Ağacı Analizi Örneği Bölümünde ilk örnekte basit bir hesaplama örneği verilmiştir. İkinci örnekte ise yazılım kullanılarak hesaplama örneği verilmiştir.

**Arıza Modelleri:** Arıza modelleri, bir hata ağacındaki olayın hata değerini veya olay ağacındaki birincil bir olayla ilgili niceliksel arıza ve onarım hata verileridir (ISOGRAPH Reliability Workbench, kullanım kılavuzu).

Lokal arıza modelleri veya jenerik arıza modelleri seçilebilmektedir. Lokal arıza modeller sadece bir blok veya olaya atanabilirken, jenerik arıza modelleri birden fazla blok veya olaya atanabilmektedir.

Çeşitli arıza ve onarım senaryolarının modellenmesi amacıyla farklı arıza modeli türleri sunulmaktadır. Şu tür faktörleri dikkate alarak, uygun model tipini analizde seçmek gerekmektedir:

- Arızanın onarılabilir olup olmadığı,
- Arızaların sadece bir kontrol veya test yapılıncaya tespit edilip edilmediği, (yani sürekli çalışır vaziyette olan veya olmayan ekipman),
- Verinin arıza ve onarım oranları mı yoksa MTTF (ortalama bozulma zamanı) ve MTTR (ortalama onarım zamanı) biçiminde mi olduğu,
- Verinin, IEC 61508 tarafından belirtilen biçimde olup olmadığı.

Temel Model Türlerini Seçme Kılavuzu aşağıdaki gibidir:

- Operatör hataları – Sabit türü seçilmelidir ve emre amade olmama durumu talep edildiğinde arıza olasılığı “Kullanıma Amadilik” olarak ayarlanması gereklidir,
- Acil durum ekipmanları – Bu tür ekipmanlar için IEC 61508 türü seçilir,
- Onarılamaz arızalar – Oran türü seçilir ve onarım oranı “sıfır” olarak ayarlanır,
- Onarılabilir arızalar – Oran, MTTF veya Kararlı hal türleri seçilir.

**Emre hazır olmama Q(t):** Bileşenin herhangi bir t anında çalışamaz/kullanılamaz durumda olma olasılığıdır.

Kullanılamaz durumda olup olmadığı sadece bir denetleme veya test sonucu anlaşılabilir olan sistemler için geçerlidir. Güvenlik sistemleri ya da bekleme konumundaki sistemler (örneğin, yangın söndürme sistemi) için hesaplanır.

**Arıza olasılığı güvenilirlik değeri – PFD- F(t):** Zamanla arıza olasılığı aşağıdaki gibidir:

- Sistemin 0 ve t zamanları arasında arıza verme olasılığı, ve
- Sistemin belli bir zaman aralığında arıza verme olasılığı.

**Arıza frekansı ω(t):** Arıza frekansı ω(t), koşulsuz arızaların yoğunluğudur ve arızanın ne sıklıkta oluştuğunun ölçüsüdür.

**Q(t)-F(t) arasındaki bağlantı:** Onarılamaz bileşenler için emre amade olmama değeri güvenilirlik değeri ile aynıdır. Q(t) = F(t) durumu.

- Risk azaltma faktörü = 1/Qort.

**Sabit model (Fixed Model):** 'Fixed Model' olay kullanılamazlık değerlerinin ve arıza frekanslarının zamanla değişmediği durumlarda kullanılır. Girdi olarak arıza frekansını alır.

- Talep Anında Arıza Olasılığı - (Failure On Demand) olasılığı (örnek: operatör hataları gibi)
- Basit olay olasılık değerleri (örnek: kötü hava koşulu ihtimali)
- Koşullu olay olasılığı (örnek: yüksek basınca bağlı tank çatlağı)

Fixed model tipinin, hata ağacındaki öncüler için kullanılması önerilir. Sistemin tehlikeli bir arıza sonucu, güvenlik fonksiyonlarını yerine getiremeyecek duruma gelme olasılığıdır.

**Oran model türü (Rate Model):** Bu model, hemen ortaya çıkan onarılan bileşen arızalarını temsil etmek için kullanılır.

- Arıza ve onarım oranları sabittir.
- Onarım oranı sıfır alınarak onarılamaz bileşenler için de kullanılabilir.

Model gerek arıza gerekse onarım süreçleri için üssel dağılımları kullanır. Arıza ve onarım oranlarının her ikisi de sabit değerlerdir. Aynı zamanda, onarım oranı sıfıra ayarlanarak, onarılamaz bileşenleri temsil etmek için de kullanılabilir.

Bir bileşenin Oran (Rate) modeliyle temsil edilen emre amade olmama durumu ve arıza sıklığı şöyle verilir:

$$Q(t) = \frac{\lambda}{\lambda + \mu} (1 - e^{-(\lambda + \mu)t}) \quad [7.1]$$

$$\omega(t) = \lambda(1 - Q(t)) \quad [7.2]$$

Burada;

Q(t) : Bileşenin emre amade olmama durumu

ω(t) : Bileşenin arıza sıklığı,

λ : Bileşenin arıza oranı,

μ : Onarım, bakım süresi.

**MTTF model:** Bu model 'Rate Model' ile aynıdır, ancak kullanıcı tarafından girilen parametreler MTTF ve MTTR'dır (Arıza ve onarımlar arasındaki ortalama zaman).

Bu parametrelerden arıza ve onarım oranları sırası ile şu formüllerle hesaplanır:

$$\lambda = \frac{1}{MTTF} \quad [7.3]$$

$$\mu = \frac{1}{MTTR} \quad [7.4]$$

**Faal olmayan için model (DORMANT Model):**

Bir önlem ya da hazırda bekleme durumunda olan sisteminin bileşenleri, çalıştırılması gerekmediği sürece veya bir denetleme/test yapılmadığı müddetçe arızaları keşfedilemez (Örneğin; duman dedektörü). Bu gibi sistemler için 'Dormant Model' kullanılır. Ortalama kullanılamazlık süresi şu formülle hesaplanır:

$$Q_{mean} = \frac{\lambda\tau - (1 - e^{-\lambda\tau}) + \lambda.MTTR(1 - e^{-\lambda\tau})}{\lambda\tau + \lambda.MTTR(1 - e^{-\lambda\tau})} \quad [7.5]$$

**Oran – MTTR model (RATE – MTTR Model):** Bu model, Rate model tipi ile aynıdır ancak bu modelde kullanıcı tarafından girilmesi gereken parametreler arıza oranı ve MTTR'dır. Onarım oranı şu formülle bulunur:

**Sabit – aşamalı model (Fixed – Phased Model):**

Bu model, Fixed model ile benzer; ek olarak kullanılamazlık ve arıza frekanslarını operasyonun farklı evreleri için değiştirebilme imkânı sunar.

- Özellikle bir veya birden fazla operasyonel evreyi modifiye etmek gerektiğinde kullanılır.
- Her evrenin kullanılamazlık değeri ve arıza/anarım oranları gereklidir.

'Mutlak olasılık kullanın ve değerleri değerlendirin (Use absolute probability and rate values)' seçeneği aktif değilse baz alınacak kullanılamazlık değeri gereklidir. Düzeltme faktörü, her evre için baz kullanılamazlık değerini arıza frekansı ile çarpar.

- Bu model, Rate modeli ile benzerdir, ek olarak operasyonun farklı evrelerinde arıza oranını değiştirme imkânı sunar.
- Bu model özellikle standby (bekleme) evrelerini ya da sistemin yüksek stres altında olduğu aşamaları modifiye etmek istenildiğinde kullanılır.
- Her evre için arıza oranları gereklidir.

**IEC 61508 Model:** Bu model 'IEC 61508' standardına göre tehlikeli/güvenli arıza frekansları ile tespit edilmiş/edilmemiş arıza oranlarını hesaplar. IEC 61508 arıza ve arıza tespit kapsamı parametreleri, tehlikeli ve emniyetli arıza fraksiyonları ile tespit edilmemiş ve tespit edilmiş fraksiyonları IEC 61508 standardına (Bölüm 6) göre tanımlar.

Tehlikeli arıza oranı şöyle verilir:

$$\lambda_D = \lambda \frac{DF}{100} \quad [7.7]$$

Burada;

DF = tehlikeli arıza oranı (%)

$\lambda$  = toplam arıza oranı

Emniyetli arıza oranı şöyle verilir:

$$\lambda_S = \lambda - \lambda_D \quad [7.8]$$

Tehlikeli tespit edilmemiş arıza oranı şöyle verilir:

$$\lambda_{DU} = \lambda_D \cdot \left(1 - \frac{DC}{100}\right) \quad [7.9]$$

burada, DC = tehlikeli kapsam oranı (%).

Tehlikeli tespit edilmiş arıza oranı şöyle verilir:

$$\lambda_{DD} = \lambda_D \cdot \frac{DC}{100} \quad [7.10]$$

Emniyetli tespit edilmemiş arıza oranı şöyle verilir:

$$\lambda_{SU} = \lambda_S \cdot \left(1 - \frac{SC}{100}\right) \quad [7.11]$$

burada, SC = emniyetli kapsam oranı (%)

Emniyetli tespit edilmiş arıza oranı şöyle verilir:

$$\lambda_{SD} = \lambda_S \cdot \frac{SC}{100} \quad [7.12]$$

Emniyetli arıza fraksiyonu şöyle verilir:

$$SFF = \frac{\lambda_{DD} + \lambda_{SD} + \lambda_{SU}}{\lambda} \quad [7.13]$$

Tehlikeli arızalar nedeniyle emre amade olmama durumu şöyle verilir:

$$Q_D = \lambda_{DU} \cdot \frac{\tau}{2} \cdot \frac{PTC}{100} + \lambda_{DU} \cdot \frac{\theta}{2} \cdot \left(1 - \frac{PTC}{100}\right) + \lambda_{DD} \cdot MTTR \quad [7.14]$$

Burada;

PTC = dayanım testi kapsamı (%)

$\tau$  = test aralığı

$\theta$  = ağır bakım aralığı

İstenmeyen trip (devre dışı kalma) arızası sıklıkları, emniyetli arıza fraksiyonuna katkıda bulunan arıza oranları kullanılarak belirlenir:

$$\lambda_{DD}, \lambda_{SD}, \lambda_{SU} \quad [7.15]$$

**Olay ağacı başlatıcı olay modeli (Event Tree Initiator Model):** Bu model olay ağacını başlatan olayları için kullanılır ve olay arıza frekansını belirler.

**Minimum kesim kümesi (Minimal Cut Set) hesaplaması:** Minimum kesim kümesi kullanılamazlık ve arıza frekansı değerleri şu formüller ile hesaplanır:

$$Q_{cut}(t) = \prod_{i=1}^n Q_i(t) \quad [7.16]$$

$$\omega_{cut} = \sum_{j=1}^n \omega_j \prod_{i=1, i \neq j}^n Q_i \quad [7.17]$$

n: Minimum kesim kümesi

Budanmış ağaç hesaplanması için aşağıda verilen Boole Mantığı kuralları kullanılmaktadır:

#### Eşgüçlülük özelliği:

$$A + A = A$$

$$A \cdot A = A$$

#### Yutma özelliği:

$$A + A \cdot B = A$$

$$A \cdot (A + B) = A$$

#### Dağılma özelliği:

$$(A + B) \cdot (A + C) = A + B \cdot C$$

$$A \cdot B + A \cdot C = A \cdot (B + C)$$

#### Hata Ağacı sonuç hesaplama metodu:

Hata Ağacı ile kantitatif (nicel) analiz yapmak üzere birden fazla hesaplama modeli bulunmaktadır. Hesaplama metotları birbirine yakın sonuçlar vermektedir, ancak hesaplama yaklaşımına göre daha doğru sonuç elde etmek üzere seçenek sunulmuştur.

- Nadir yaklaşım yöntemi,
- Optimum üst sınır metodu,
- Çapraz çarpım (cross product) metodu,
- Esary – Proschan yöntemi.

Esary-Proschan yöntemi seçilirse, kullanılabilirlik değerleri üzerinden hesaplanır. Şayet birden fazla RBD yani güvenilirlik blok diyagramı mevcut ise bu durumda Optimum üst sınır metodu tercih edilir.

Optimum üst sınır yöntemi seçilirse, RWB, sonuçları birden fazla yöntem uygulayarak karşılaştırır. En düşük optimum üst sınır değeri sonuç olarak alınır. Nadir yaklaşım yöntemi seçilirse, kapı ve sonuç olasılıkları ile ilgili kümülatif hesap yapılmak istenirse, minimum kesim kümesi (minimal cut set) oluşma olasılıklarının toplanmasıyla hesaplanır.

Hata ağacı analizinde kullanılabilirlik değerleri üzerinden hesaplama yapabilmek için Optimum üst sınır yöntemi varsayılan hesaplama yöntemi olarak ayarlıdır ve öneri olarak sunulmaktadır. Kullanıcı

şayet özel hesaplama yapmak isterse yazılım içinden özel hesap kısmından ayarı değiştirebilmektedir.

Çapraz çarpım yöntemi kullanılabilirlik hesaplamaları için kullanılabilirliği gibi aynı anda, frekans hesaplamaları için de kullanılabilirlik formülleriyle hesaplanır:

$$Q_{cut} = \prod_{i=1}^n Q_i \quad [7.18]$$

Burada;

$Q_i$  : yol setindeki i. olayın kullanılabilirliği (unavailability)

$Q_{cut}$  : yol seti olma olasılığı

$n$  : yol setindeki olay sayısıdır.

$$\omega_{cut} = \sum_{j=1}^n \omega_j \prod_{i=1, i \neq j}^n Q_i \quad [7.19]$$

Burada;

$\omega_j$  : yol setindeki j. olayın hata frekansı

$\omega_{cut}$  : yol seti olma frekansı

Sistem kullanılabilirlik değerleri Esary-Proschan formülüyle hesaplanır:

$$Q_{sys} = \prod_{i=1}^m Q_i [1 - \prod_{j=1}^n (1 - Q_{cutj})] \quad [7.20]$$

Burada;

$Q_i$  : Ortak olay i'nin kullanılabilirliği (unavailability)

$m$  : Tüm yol setlerinde meydana gelen ortak olayların sayısı

$Q_{cutj}$  : Ortak olaylar hariç j. yol setinin kullanılabilirliği (unavailability)

$n$  : Yol setlerinin sayısı

$Q_{sys}$  : Sistem kullanılabilirliği (unavailability)

Yol seti olma olasılıkları ve hata frekansları, kullanıcı tarafından öngörülen seçeneklere bağlı olarak, nadir yaklaşım veya çapraz çarpım yöntemleriyle de hesaplanabilir. Nadir yaklaşım kullanılabilirlik formülü:

$$Q_{sys} = \sum_{i=1}^n Q_{cuti} \quad [7.21]$$

### Çapraz çarpım kullanılamazlığı (unavailability) formülü:

$$Q_{sys}(t) = \sum_{i=1}^n Q_{cuti}(t) - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n Q_{ij}(t) + \sum_{i=1}^{n-2} \sum_{j=i+1}^{n-1} \sum_{k=j+1}^n Q_{ijk}(t) + \dots + (-1)^{n+1} Q_{123\dots n}(t) \dots$$

[7.22]

Burada;

- $Q_{cuti}(t)$  : i. yol setinin kullanılamazlığı (unavailability)
- $n$  : yol setlerinin sayısı
- $Q_{sys}(t)$  : sistem kullanılamazlığı (unavailability).
- $Q_{ij}(t)$  : i ve j yol setlerindeki temel olayların kullanılamazlıklarının (unavailability) çarpımları
- $Q_{ijk}(t)$  : i, j ve k yol setlerindeki temel olayların kullanılamazlık (unavailability) çarpımlarıdır.

Sistem hata frekansları, çapraz çarpım yöntemi, Esary-Proschan yöntemi veya nadir yaklaşım yöntemi kullanılarak hesaplanır.

Sistem frekansı için Esary-Proschan formülü:

$$\omega_{sys} = \sum_{i=1}^n \omega_{cuti} \prod_{j \neq i}^n j = 1 (1 - Q_{cutj})$$

[7.23]

Burada;

- $\omega_{cuti}$  :i. yol setinin hata frekansı
- $Q_{cutj}$  :j. yol setinin kullanılamazlığı (unavailability)

### Nadir yaklaşım yöntemiyle hesaplanan sistem frekansı formülü aşağıdadır:

$$\omega_{sys} = \sum_{i=1}^n \omega_{cuti}$$

[7.23]

Burada;

- $\omega_{cuti}$  : i. yol setinin hata frekansı
- $\omega_{sys}$  : sistem hata frekansı

Çapraz çarpım (cross product) sistem frekans değerleri, tüm yol seti çapraz çarpım terimlerinin frekanslarını toplayarak ya da çıkararak belirlenir.

Optimum üst sınır yöntemi (Optimum upper bound) seçilirse, yazılım sonuçları birden fazla yöntem uygulayarak karşılaştırmaktadır. Şayet birden fazla

kapı ve minimum kesim kümesi mevcut ise bu durumda Optimum üst sınır metodu tercih edilmesi önerilmektedir.

Hata Ağacı Analizi hesaplaması için “Çapraz çarpım yöntemi (cross-product)” ile “Optimum üst sınır yöntemi (Optimum upper bound)” birlikte kullanılmıştır. Bu yöntem kullanılamazlık hesaplamaları için kullanılabildiği gibi aynı anda, frekans hesaplamaları için de kullanılabilmektedir. Şayet birden fazla kapı ve minimum kesim kümesi mevcut ise bu durumda Optimum üst sınır metodu tercih edilmesi önerilmektedir. Minimum kesim kümeleri hesaplaması için yazılım öncelikle çapraz çarpım yöntemi ile hesap yapmaktadır.

## 7.6. Olay Ağacı Analizi

Madenler de dahil olmak üzere birçok karmaşık proses, sistem ve makine hata riskine karşı yedek sistemler içerir. Bir sistemdeki iş kazasının insan sistem hata frekansları, çapraz çarpım yöntemi, Esary-Proschan yöntemi veya nadir yaklaşım yöntemi kullanılarak hesaplanır. Sistem frekansı için Esary-Proschan formülü: hataları veya sistemsel hatalar nedeni ile ortaya çıkıp çıkmadığının analizi “Olay Ağacı Analizi” (Event Tree Analysis – ETA) ile yapılır. Buna göre her hatanın meydana gelme ihtimali ayrı ayrı hesaplanır. Ayrıca endüstrideki deneyimlerden yararlanılan genel datalar kullanılabilir. Bir başlatıcı hatadan başlanır ve bunu takip eden sistemlerin çalışıp çalışmamasına göre hata yapma bu durumda ne ortaya çıkabileceği tartışılır. Varılan sonuç tam kesin bir değer değildir, bu nedenle olası en kötü sonuç kabul edilir çünkü eğer bir şeyin kötü gitme şansı varsa, kötü gideceğini varsaymak, sonradan bir sürprizle karşılaşmaktan daha iyidir (Özdilek İslamoğlu, 2005).

Olay Ağacı Analizi, ilk defa nükleer reaktörlerin geliştirilmeleri için geliştirilmiş olmasına rağmen, daha sonradan tüm sektörler tarafından kullanılmıştır. 1979’lu yıllarının başında, Nükleer Düzenlemeler Komisyonu üyelerinden ve MIT’de öğretim görevlisi olan Prof. Norman Rasmussen ve mühendislerden oluşan bir ekip tarafından geliştirilmiştir. Nükleer reaktörler için çeşitli kaza senaryolarının meydana gelme ihtimallerini hesaplamışlar ve sonuçlarını değerlendirmişlerdir. WASH-1400 adı ile anılan Reaktör Güvenlik Çalışması, Rasmussen ve ekibi tarafından Ocak 1975’de tamamlanmıştır. Sürdürülen bu çalışma neticesinde Nükleer Düzenlemeler Komisyonu başkanı N. Rasmussen ve ekibi tarafından Olay Ağacı Analizi ve Neden Sonuç Analizi geliştirilmiştir. Rasmussen tarafından geliştirilen bu teknik dünyadaki nükleer birimlerin

güvenliklerinin araştırılmasına büyük bir katkı sağlamıştır ve halen de sağlamaktadır (Özdilek İslamoğlu, 2007).

Olay ağacı, sistemlerin tümevarımsal analizini içeren kantitatif (nicel) bir tekniktir. Olay ağacı analizi çeşitli sistem hataları kaynaklı oluşan başlangıç olayı ve ondan hemen sonra gelen birbirinden bağımsız ardışık sistem hatalarının zincirleme hatasını analiz eder. Analiz aslında başlatıcı olaydan sonra bu kazanın meydana gelmesini önlemek için tedbir olarak alınmış sistemlerin başarı ve başarısızlıkları üzerine kurgulanır.

Olay ağacında, olaylar dizisi olan zincir bir başlangıç olayını izleyen sonraki olaylara bağlıdır. Diğer bir ifade ile olaylar dizisi veya yollar sonuçları ortaya çıkarmaktadır. İş ve ekonomik analizlerde çok yaygın olarak kullanılan karar ağaçlarının bir uyarlaması olan olay ağaçları, sistem emniyet analizi ve hata etkileri analizinde çok yararlıdır. Olay ağacı sebepler zincirinin ortaya çıkarılmasında da kullanılır. Bu sebeplere göre olaylar analiz edilmektedir (Özdilek İslamoğlu, 2005).

Olay ağacı analizi nükleer endüstride başlarda sıklıkla kullanılmasına rağmen sonrasında enerji santrallerinde işletilebilme analizi olarak da tercih edilmiş ve halen de kullanılmaktadır. Zaman ile diğer sektörlerde de sıklıkla uygulanmaya geçmiştir. Olay Ağacı analizi, başlatıcı olarak seçilmiş bir olayın meydana gelmesinden sonra ortaya çıkabilecek sonuçların gidişatını diyagram ile gösteren bir tekniktir. Hata ağacı analizinden farklı olarak bu teknik tümevarım yaklaşımı kullanır (Özdilek İslamoğlu, 2005).

Kaza öncesi ve kaza sonrası durumları gösterdiğinden sonuç analizinde kullanılan başlıca tekniktir. Diyagramın sol tarafı başlangıç olay ile bağlanır, sağ taraf fabrikadaki/işletmedeki hasar durumu ile bağlanır en üst ise sistemi tanımlar. Eğer sistem başarılı ise yol yukarı, başarısız ise aşağı doğru gider (Özdilek İslamoğlu, 2005).

Olay ağacı analizinde kullanılan mantık, hata ağacı analizinde kullanılan mantığın tersinedir. Bu metot; sürekli çalışan sistemlerde veya "standby" (duruş) modunda olan sistemlerde kullanılabilir. Sisteme meydan okumaya karşı sistemin cevabının keşfi ve sistemin başarı/hata olasılık değerlendirmesinin yapılmasıdır. Örnek "Meydan Okumalar";

- Madende patlama,
- Depolanmış yanıcı malzemenin tutuşması,
- Sistem hatası,

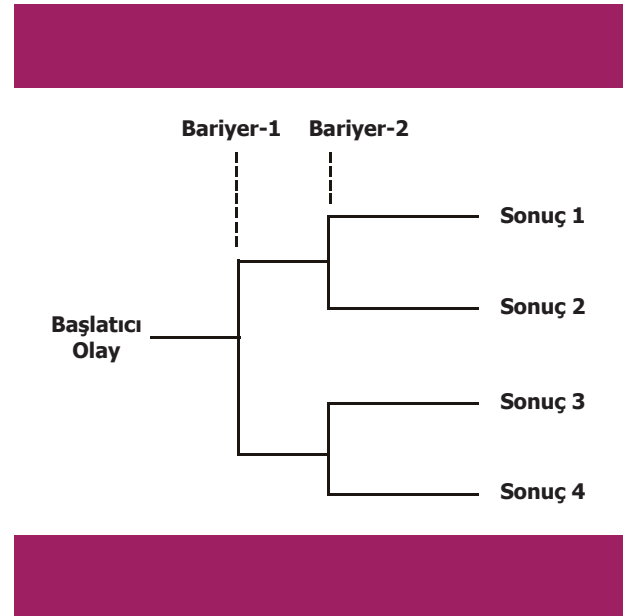
- Teknoloji ihtiyacı,
- Normal sistem işletme komutları,
- Çökme,
- İstenmeyen zincirleme olayların meydana gelmesi vb.
- Olay Ağacı Analizi (Genel Durum);
- Sistem içindeki tüm güvenilir operasyonel değişimler tanımlanır. Her bir yol takip edildiğinde nihai başarıya veya hataya götürür (Özdilek İslamoğlu, 2005).

#### Olay Ağacı Analizi (Bernoulli Modeli):

- Sistemin davranışını temsil eden basit ağaca indirgenir. İkili dal kullanılır. Final çıktıları geri döndürülemez hatalar ve yenilgisiz başarılarla direk olarak götürür. Bir hata ağacı veya diğer analizler; başlangıç olayın veya koşulun olasılığı belirlenir (Şekil 7.11) (Özdilek İslamoğlu, 2005).

#### Olay Ağacı Analizi (Genel Durum):

- Sistem içindeki tüm güvenilir operasyonel değişimler tanımlanır. Her bir yol takip edildiğinde nihai başarıya veya hataya götürür (Özdilek İslamoğlu, 2005).



Şekil 7.11 Olay Ağacı Analizi diyagramının şematik yapısı.



## 8. KÖK NEDEN ANALİZLERİ ÖRNEKLERİ

Bu bölümde beş kök neden analizi yöntemi üzerine örnekler sunulmuştur. İncelenecek olaylar için kullanılacak yöntemin Şekil 6.4'te sunulan akış diyagramından faydalanılmıştır.

Kök neden analizleri kullanımı için Şekil 6.4'te verilen akım şeması tamamen bir öneridir. Kök neden analizleri mutlak suretle bu akım şeması ile kullanılmak zorundadır gibi bir kural ve şart asla bulunmamaktadır. Ancak kök neden analizlerinin ne zaman ve hangi durumda seçilmesi gerektiği konusunda karışıklık olmaması düşüncesi ile bu rehberi kullanacak uzmanlara analizleri seçmek için öneri olarak hazırlanmıştır. Bu bölümde verilen örnekler için akım şemasındaki akışa göre analizlerin seçimi anlatılacak ve analizlerin uygulama şekilleri anlatılacaktır.

### 8.1. 5N ve 1K Yöntemi Örneği

**KAZA-1:** Madende yaralanma ile sonuçlanan olayda, kazazede, 16 yıldır madenci olarak görev yapmaktadır. Olay günü saat 03:30 sıralarında işlemeye ait tahmini 1500-1600 metre mesafede olan yeni baca olarak tabir edilen kısımda bulunmakta ve yürümektedir.

Kepçe operatörü ekskavatör-yükleyici kombine lastikli iş makinesi (Şekil 8.1) ile taş ve kömür kazısı yapılmakta, aynı zamanda yükleyici kısımdan kepçeye aldığı kömürleri konveyöre nakletmektedir. Operatör kepçeye kömür alarak konveyöre doğru hareket eder. Oldukça dar, düzensiz ve aynı zamanda da aydınlatması yetersiz olan çalışma bölgesinde yürümeye çalışan kazazede, kazıcı-yükleyici aracın basamaklarına basarak makinenin üzerine çıkmaya çalışır.



Şekil 8.1 Kazıcı yükleyici kombine iş makinesi

//

Kök neden analizleri için maden işletmelerinde kullanılabilecek beş kök neden analizi yöntemi üzerine örnekler sunulmuştur. İncelenen olaylar için kullanılacak yöntemler için akış diyagramından faydalanılmıştır.

Aracın basamağına çıkmak isterken çalışanın ayağı kayar ve iş makinesinin tekerleğinin altına düşer. İş makinesinin sağ ön tekerleği çalışanın sağ ayağını kavrayarak çalışanı beline kadar ezer.

Kaza, çalışanın iş makinesine çıkmak isterken, sağ ayağının kayması sonucu kalçasına kadar tekerlek altında kalarak çoklu kemik kırılması ile yaralanması biçiminde meydana gelmiştir. İlgili kaza ile ilgili ceza davası görülmüş ve sonuçlanmıştır.

### KÖK NEDEN ANALİZİ:

Söz konusu kaza 5N ve 1K tekniği ile analiz edilecektir.

**5N VE 1K KÖK NEDEN ANALİZİ SEÇİLME NEDENİ:** Şekil 6.4'de verilen akış şemasına göre inceleme yapacak olursak; olay karmaşık detay ve kök nedenlere sahip bir kaza değildir. Bu nedenle 5N ve 1K tekniği ile inceleme yeterli görülmüştür.

Şekil 6.4. (sayfa 40)'te sunulan akış diyagramına göre, proses sistem ve ekipmanının kritik bir hataya sebep vermesi söz konusu olmadığından Olay Ağacı Analizi (ETA) veya başka diğer analiz yöntemlerine başvurmaya gerek kalmamıştır.

### 5N VE 1K ANALİZİ:

#### Ne oldu?

- Kazazede, 16 yıldır maden çalışmanı olarak görev yapmaktadır.
- Olay günü saat 03.30 sıralarında işletmeye ait tahmini 1.500-1.600 metre metrede bulunan yeni baca olarak tabir edilen kısımda bulunmakta ve madenden çıkmak üzere yürümektedir.

### DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER:

Ne oldu sorusuna cevap verirken kaza ile ilgili olay kurgusu saat saat ve meydana gelme sıralamasına göre verilmelidir. Unutulmamalıdır ki olay ne kadar detaylı bir anlatım ile anlatılabilirse bu durumda kök nedenleri olayı anlatırken dahi anlama ve fark etme şansımız olacaktır.

#### Nasıl Oldu?

- Kepçe tarafından taşların ve kömürün kazılması sebebiyle zemin yumuşaktır.
- Kaza geçiren çalışanın ayağı yumuşak zeminde kaymıştır. Çalışan yumuşak zeminde kayınca iş makinesinin tekerleğinin altına doğru kayarak düşmüştür. İş makinesinin sağ ön tekerleği çalışanın sağ ayağını kavrayarak beline kadar ezmiştir.

Çalışan iş makinesine çıkmak isterken, sağ ayağı kaymış ve kalçasına kadar kepçenin tekerleği altında kalarak çoklu kemik kırılması ile yaralanması biçiminde kaza meydana gelmiştir.

### DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER:

Nasıl oldu sorusuna cevap verilirken kazaya sebep veren koşullar, ortam şartları, fiziksel ve mekaniksel olaya katkıda bulunan iş ekipmanları vb. ile ilgili bilgi verilmelidir.

#### Neden Oldu?

- Yalnızca malzeme taşıma amacıyla kullanılması gereken iş makinesi üzerinde kazazede çalışanın ve diğer çalışanların daha önce de basamaklarına çıkarak maden içinde seyahat ettikleri belirlenmiştir. Yeraltından çıkarılan kömürün konveyöre kadar kepçe ile götürüleceği yol kısmı diğer çalışan yayaların çalıştığı ve geçiş yaptığı/yapacağı kısımlardan belirgin şekilde ayrılmış olmalıdır. Çalışanlar ile kepçe arasında rahat ve güvenli hareket edebilecek kadar mesafe bırakılmalı, alanın dar ve şartların zorluğundan aynı alanı kullanmaları gerektiği durumda ise, çalışanların geçiş yapacağı sırada kepçenin hareketine izin verilmemiş olmalı veya kepçe hareket halindeyken çalışanın kepçeye yaklaşması ve binmesine kesinlikle izin verilmemiş olması gerekmektedir.
- Yeraltında yeni baca bölgesinden çıkarılan kömürün yer üstüne çıkarılmasını sağlayan konveyör taşıyıcısına götürülmesi kepçe yardımıyla yapılmaktadır. Ancak çıkarılan kömürün konveyörlere daha güvenli mekanik taşıma sistemleri ile götürülmesi gerekmektedir.
- Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği EK-3 Yeraltı Maden İşlerinin Yapıldığı İşyerlerinde Uygulanacak Asgari Özel Hükümler madde 4.5'de kömür ve kükürt ocaklarında, benzinli lokomotiflerin ve benzinle çalışan araçların kullanılması yasaktır. Dizel lokomotiflerde egzoz gazlarının tehlikesine karşı, uygun sistemler kullanılması zorunludur denmektedir. Ancak söz konusu kazada yeraltında uygun olmayan ve yasak olan iş makinesi kepçe kullanılmıştır.
- Kepçenin kullanılması esnasında, bu tür olayları önlemek için, aracın hareketini yönetecek ve özellikle hareket halinde binilmesine izin vermeyecek işaret konusunda özel eğitilmiş bir nezaretçi

görevlendirilmemiştir. İş makinesinin gözeticinin yönlendirmesi ve işaretlerine göre hareketlerinin (güvenli usulde) yapılması sağlamış olmalıdır.

- Maden işyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği EK-3 yeraltı maden işlerinin yapıldığı işyerlerinde uygulanacak asgari özel hükümler madde 8.6'da çalışma sahasında motorlu taşıtlar ve araç trafiğinin bulunması durumunda, trafik kurallarına uygun düzenleme yapılır denilmektedir. Ancak bu alanda böyle bir düzenleme bulunmamaktadır. Yeraltından çıkarılan kömürün konveyöre kadar kepçe ile götürüleceği yol kısmı yayaların çalıştığı veya geçiş yaptığı/yapacağı yollardan belirgin şekilde ayrılmamıştır.
- Çalışanlar ile iş makinesi çalışma alanı arasında, yolda rahat ve güvenli hareket edebilecek kadar mesafe bırakılmamıştır. Alanın darlığı ve şartların zorluğundan dolayı iş makinesi ile yayaların aynı alanı kullanmaları gerektiği durumda ise, çalışanların geçiş yapacağı sırada kepçenin hareketine izin verilmemiş olması gerekirdi veya kepçe hareket halindeyken çalışanın kepçeye yaklaşması ve binmesine kesinlikle izin verilmemiş olması gerekmektedir.

#### **DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER:**

Nasıl oldu sorusuna cevap verilirken kazaya sebep veren koşullar, ortam şartları, fiziksel ve mekaniksel olaya katkıda bulunan iş ekipmanları vb. ile ilgili bilgi verilmelidir.

#### **Nerede gerçekleşti?**

- Madende 1.500-1.600 metre mesafede olan yeni baca olarak tabir edilen kısımda olay gerçekleşmiştir.
- Kepçe iş makinesi ile kepçe operatörü tarafından taş ve kömürler kazılmakta ve kepçeye alınan kömürler konveyöre taşınmaktadır.
- Çalışma oldukça dar, karışık ve aynı zamanda da aydınlatması iyi olmayan alanda yürütülmektedir.

#### **DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER:**

Nerede oldu sorusuna cevap verilirken kazaya sebep veren işyeri ortamı ve bu ortamda bulunan mevcut olumsuzluklar ile ilgili bilgi verilmelidir.

#### **Ne zaman gerçekleşti?**

- Olay günü saat 03.30 sıralarında gerçekleşmiştir.
- Söz konusu kepçe iş makinesi ile taş ve kömürlerin sıklıkla kazılarak kepçe marifeti ile konveyöre taşınması sırasında olduğu belirlenmiştir.

#### **DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER:**

Ne zaman sorusuna cevap verilirken kazanın gerçekleştiği zamanlama ile birlikte bu esnada kazazede çalışanın hangi eylemleri yaptığını da içerecek şekilde bilgi verilmelidir.

#### **Kim etkilendi?**

- Kepçenin kepçe kullanımı için uygun ehliyeti olan operatör tarafından kullanıldığı belirlenmiştir.
- Kepçe operatörünün kepçeye yüklenmiş olan kömürü konveyöre götürürken kepçeye yakın duran kazalı çalışanın aracın fiziksel yapısının büyüklüğü nedeniyle görmesinin mümkün olamayacağı belirlenmiştir.
- Çalışanın kepçe operatörüne bilgi ve uyarı işareti vermeden kepçeye yapışarak binmeye çalışmış olduğu tespit edilmiştir.
- Çok tehlikeli olmasına rağmen diğer çalışanların da zaman zaman maden içinde kepçe üzerine bindiği tespit edilmiştir.
- Kazadaki hatalı davranışın kanıksanmış olduğu ve kepçe operatörünün bu tür davranışlara müsamaha gösterdiği belirlenmiştir.

#### **DİKKAT EDİLMESİ GEREKENLER:**

Kim sorusuna cevap verilirken kazanın gerçekleşmesine katkıda bulunan kişiler var ise bilgi verilmelidir. Ayrıca kaza geçiren çalışan hakkında da daha detaylı bilgi verilebileceği gibi kazazede çalışanın yaptığı eylem hakkında da bu bölümde kısaca bilgi verilmeye çalışılmalıdır.

## **8.2. Balık Kılıçığı Analizi Örneği**

**KAZA-2:** Bir kömür ocağında sahasında yeraltında çalışma yapmak için gerekli olan temiz hava ihtiyacının karşılanmasında 30 adet fan kullanılmaktadır. Bu fanlar ile 28 farklı lokasyonda havalandırma yapılmaktadır. Temiz hava, yeryüzü giriş noktalarından (portal) ocağa alınmakta ana rampa üzerindeki kat girişlerine konulan tali fanlar ile hazırlık veya üretim yapılan

katlara iletilmektedir. Katlardaki kirlenen hava ise çıkış (nefeslik) tarafından bacalardan emilerek katlardan uzaklaştırılmaktadır. Yeraltında üretim delme, patlatma, nakliye ve tahkimat işleri ile gerçekleştirilmektedir. Üretim, dizel ve elektrik motorlu ekipmanlar ile yapılmaktadır.

17.02.2016 tarihinde 04:00 yeraltı kömür ocağında çalışan H.S. hazırlık başyukarısında kömür nakli için sabit oluk döşerken aynadan kopan kavlağın sağ ayağının kaval kemiğine çarpması sonucu yaralanır ve bacağı kırılan çalışan yürüyemez.

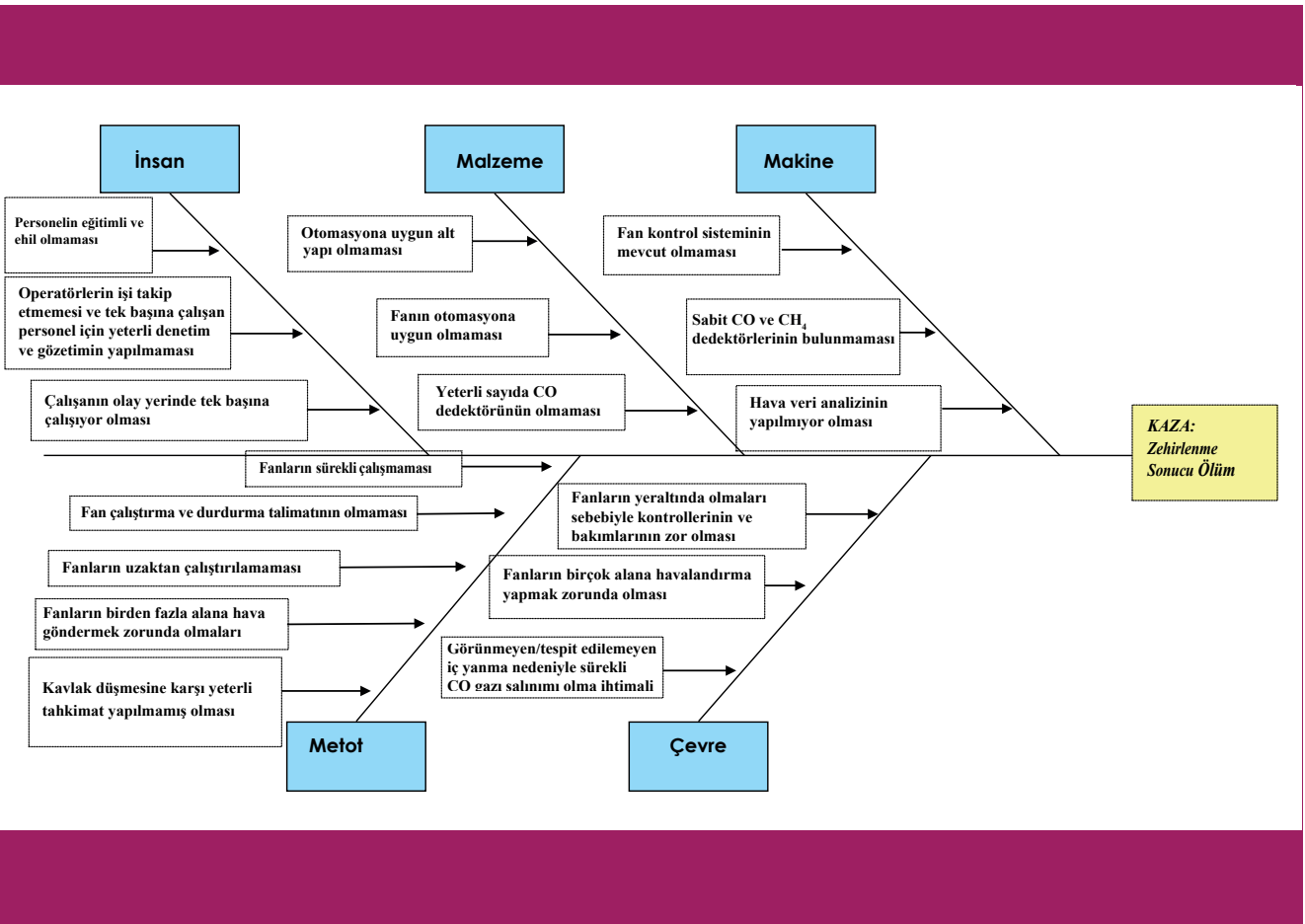
Ocakta başyukarıda mevcut olan 500 metre uzunluğundaki taban yoluna ve arına 30 metre uzaklıkta kalan fan ile basılan hava, mesafeye bağlı sürtünme direncine uygun ve yeterli havalandırma sağlamamış olduğu için çalışan ortama yayılan CO nedeni ile zehirlenerek hayatını kaybeder.

## KÖK NEDEN ANALİZİ:

Söz konusu kaza Balık Kılıçığı Analizi tekniği ile analiz edilecektir.

**BALIK KILIÇIĞI KÖK NEDEN ANALİZİ SEÇİLME NEDENİ:** Şekil 6.4. (sayfa 40)'te verilen akış şemasına göre inceleme yapılacak olunursa; olay ilk örneğimizdeki gibi aslında karmaşık detaylara ve birçok karmaşık kök nedenlere sahip bir kaza değildir. Ancak bu olayda detayların kaçırılma ihtimali olabilecektir. Zira olayda hem insan hatası hem de malzeme, metot ve çevresel etkiler gibi etkenlerin olduğu açıktır. Bu nedenle 5N ve 1K tekniği ile inceleme yapılması yeterli görülmemiştir.

İnceleme yapmış olduğumuz kaza için tespit edilen kök nedenler ayrıca beş nedenden fazla olması sebebi ile de 5N ve 1K yöntemi ile inceleme yapma durumunda detayları kaçırmaya sebep olabileceği için Balık Kılıçığı tekniği ile analiz yapılmıştır (Şekil 8.2).



Şekil 8.2 Balık Kılıçığı Kök Neden Analizi örneği

Şekil 6.4. (sayfa 40)'te sunulan akış diyagramına göre, proses sistem ve ekipmanının kritik bir hataya sebep vermesi söz konusu olmadığından Olay Ağacı Analizi (ETA) veya başka diğer analiz yöntemlerine başvurmaya gerek duyulmamıştır.

### 8.3. Güvenlik Bariyer Analizi Örneği

**KAZA-3:** Maden kömürü sahasında 07.07.2010 günü üretime hazırlık ve bakım çalışmaları yapılmaktadır. Madende çalışma yapmakta olan usta C.B. ve yardımcısı D.Ç. ocağın 10. kat kapak mevkiinde oksijen kaynağı ile 22mm'lik bir inşaat demirini kesmeye çalışmaktadırlar. Demiri kestikleri sırada oluşan kor daha önceden zedelenmiş bulunan oksijen tüpüne bağlı hortum üzerine düşer ve hortumda delinme sonucu ortama yayılan oksijen gazı, ortamdaki kömür ve metan ile kor halindeki demir cürufu parlama ve küçük çaplı patlamaya yol açar ve ardından yangın çıkar.

Yangına alanda bulunan çalışanlar müdahale edemez ve yangın sonucu madenin 13. katında göçük oluşur. Alanda bulunan çalışanların büyük bir kısmı kendi çabaları ile madeni terk etmeyi başarır. Ancak; göçük sonucu ocağın 13. katında tahkimat işi ile uğraşan çalışanlar Y.A., V.H. ve H.A. karbon monoksit zehirlenmesi sonucu vefat ederler.

Söz konusu olaydaki oksijen tüpleri ve kaynak hortumlarının zedelenmesi ile ilgili sıklıkla kayıt tutulduğu kaza araştırması esnasında tespit edilmiştir. Hortumlarda çevresel koşullar nedeni ile erozyon oluştuğu, çoğunlukla da araçların ezme nedeni ile hortumlarda zedelenmeye sebebiyet verdiği hususu raporlandığı görülmüştür.

Kazanın meydana gelmesinden hemen önce iş izni alınması gerekirken iş izninin alındığı ancak alanın gerçekten de gözetim altında bırakılarak çalışmanın devam ettirilmediği anlaşılmıştır.

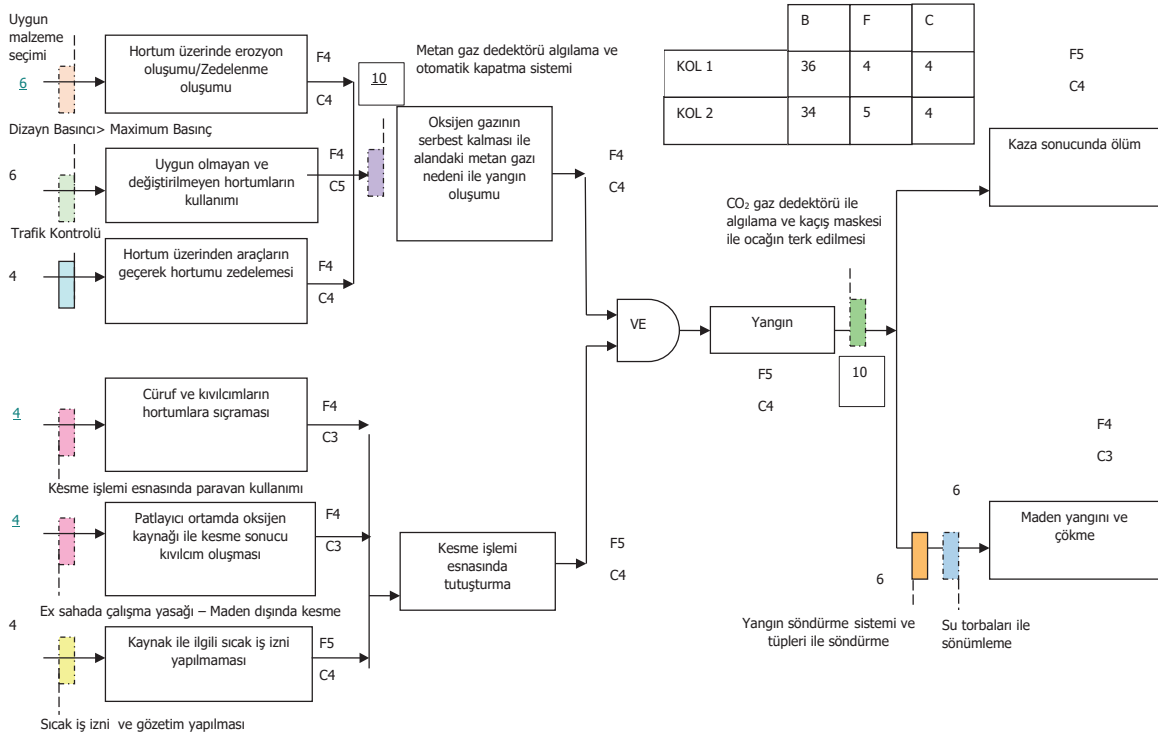
#### KÖK NEDEN ANALİZİ:

Söz konusu kaza Güvenlik Bariyer Analizi tekniği ile analiz edilecektir.

#### GÜVENLİK BARIYER ANALİZİ KÖK NEDEN ANALİZİ SEÇİLME NEDENİ:

Şekil 6.4. (sayfa 40)'te verilen akış şemasına göre inceleme yapacak olursak; olayın kök nedenlerini oluşturan nedenlerin büyük bir kısmı sıklıkla tekrar eden sebeplerdir ve herkes tarafından da bilinen ve kabul edilen sebeplerdir. Bu durumda sıklıkla tekrar eden bu kök nedenlere baskın hata denilmektedir. Baskın hataların varlığı ise kontrol kaybını işaret etmektedir.

Ayrıca söz konusu hataların birbirini tetiklemesi sonucu Domino Taşları etkisinin gözlenmesi söz konusudur, bu nedenle Güvenlik Bariyer Analizi tercih edilmiştir (Şekil 8.3).



**Şekil 8.3** Güvenlik Bariyer Analizi Uygulama örneği

Bariyer analizi yapılırken hem mevcut kaza incelemesi yapılmaktadır hem de bu kazanın meydana gelmemesi için alınan veya alınması gerekli kontrol önlemleri belirlenmektedir. Analizde mevcut önlemler için bariyerler düz çizgi ile mevcut olmayan ancak olması gereken aksiyonlar için ise bariyer çizgileri çizik çizik gösterilir.

Her bir bariyer için ise risk azaltım faktörü üzerine puan olarak işlenir. Kök nedenlerin her biri için ise şiddet ve frekans tablosundan şiddet ve frekans değeri seçilir.

Şayet ilgili kök neden önünde ilgili bariyer için gerekli olan (risk matrisi tablosundan bakılması gerekmektedir) bariyer puanı mevcut ise veya daha fazla puan var ise frekans değeri risk azaltım puanı gerektirmeyen olasılık değerine düşürülür. Ancak bariyerler mevcut değil ise yani çizik çizik çizilmiş ise olasılık değeri korunur ve aynen diğer kök nedene kadar taşınır.

Şiddet için şayet ilgili bariyer şiddet azaltabilecek bir önlem ise şiddette azaltma yapılabilir. Azaltım puanı için ise bu bariyerin varlığı durumunda olabilecek en kötü kaza düşünülerek seçim yapılır. Şayet önlemin şiddette azaltma yapmayacağı düşünülüyor ise bir sonraki kök nedene aynı şiddet değeri taşınır.

Örneğimizi inceleyecek olursak;

Hortum üzerinde erozyon oluşumu/zedelenme oluşumu kök nedeni için frekans değeri F4 ve şiddet değeri ise C4 seçilmiştir (Tablo 7.4'den seçim yapılmaktadır).

Bu kök nedenin bariyeri olarak "Uygun malzeme seçimi" yani uygun malzemenin satın alınması bir önlem (bariyer) olarak belirlenmiştir. Bu bariyerin risk azaltım faktörü 6'dır. Ancak Şekil 8.3'te görüldüğü üzere mevcut bir bariyer değildir ve kesik kesik olarak gösterilmiştir.

Uygun olmayan ve değiştirilmeyen hortumların kullanımı kök nedeni için frekans değeri F4 ve şiddet değeri ise C5 seçilmiştir (Tablo 7.4'den seçim yapılmaktadır).

Bu kök nedenin bariyeri olarak "Dizayn Basıncı> Maksimum Basıncı" yani tasarımsal bir önlem (bariyer) kullanılmıştır. Bu bariyerin risk azaltım faktörü 6'dır. Ancak Şekil 8.3'te görüldüğü üzere mevcut bir bariyer değildir ve kesik kesik çizilmiştir.

Hortum üzerinden araçların geçerek hortumu zedelemesi kök nedeni için frekans değeri F4 ve şiddet değeri ise C4 seçilmiştir.

Bu kök nedenin bariyeri olarak "Trafik Kontrolü" yani organizasyonel bir önlem (bariyer) kullanılmıştır. Bu bariyerin risk azaltım faktörü 4'tür. Şekil 8.3'te görüldüğü üzere mevcut bir bariyerdir ve düz çizgi ile çizilmiştir.

Önlemler olmadan bu üç kök neden için toplam risk puanımız ;

- F4C5 için;13 puandır.

Bu üç kök neden sonrasında da "Metan gaz dedektörü algılama ve otomatik kapatma sistemi" için risk azaltım faktörü 10'dur. Ancak Şekil 8.3'te görüldüğü üzere mevcut bir bariyer değildir ve kesik kesik çizilmiştir.

Bu üç kök neden için önlemlerden alınması gereken risk azaltım puan sayısı sadece "Trafik Kontrolü" için olan 4 puandır.

Önlemlerden sonra bu üç kök neden için yani "Oksijen gazının serbest kalması ile alandaki metan gazı ile yangın oluşumu için risk puanımız ;

- $13 - 4 = 9$  puandır. Yani F4C4'dür.

Curuf ve kıvılcımların hortumlara sıçraması kök nedeni için frekans değeri F4 ve şiddet değeri ise C3 seçilmiştir (Tablo 7.4'den seçim yapılmaktadır).

Bu kök nedenin bariyeri olarak "Kesme işlemi esnasında paravan kullanımı" bir önlem (bariyer) kullanılmıştır. Bu bariyerin risk azaltım faktörü 4'tür. Ancak Şekil 8.3'te görüldüğü üzere mevcut bir bariyer değildir ve kesik kesik çizilmiştir.

Patlayıcı ortamda oksijen kaynağı ile kesme sonucu kıvılcım oluşması kök nedeni için frekans değeri F4 ve şiddet değeri ise C3 seçilmiştir (Tablo 7.4'den seçim yapılmaktadır).

Bu kök nedenin bariyeri olarak "Ex sahada çalışma yasağı - Maden dışında kesme yapılması" bir önlem bariyer kullanılmıştır. Bu bariyerin risk azaltım faktörü 4'tür. Ancak Şekil 8.3'te görüldüğü üzere mevcut bir bariyer değildir ve kesik kesik çizilmiştir.

"Kaynak ile İlgili Sıcak İş İzni Yapılmaması" kök nedeni için frekans değeri F5 ve şiddet değeri ise C4 seçilmiştir (Tablo 7.4'den seçim yapılmaktadır).

Bu kök nedenin bariyeri olarak "Sıcak İş İzni ve Gözetim Yapılması" bir önlem (bariyer) kullanılmıştır. Bu bariyerin risk azaltım faktörü 4'tür. Ancak Şekil 8.3'te görüldüğü üzere mevcut bir bariyer değildir ve kesik kesik çizilmiştir.

Önlemler olmadan bu üç kök neden için toplam risk puanımız;

- F5C4 için;11 puandır.

Bu üç kök neden sonrasında da “Kesme işlemi esnasında tutuşturma” için risk puanımız 11’dir.

Sonuç kısmına gelindiğinde ise şayet tüm puanlar yeterli ise risk matrisinde puan gerekli alana düşürülmüş olması beklenmektedir. Kol 1 ve Kol 2 tablosunda bu kaza için gereken bariyer puanı görülmektedir (Şayet tüm bariyerler var olsa idi).

Bu puana sahip olan bariyerler mevcut değil ise olasılık ve şiddet kayıp yaratan sonuçlara olduğu gibi taşınır.

Bu şekilde hesap yapıldığında şayet tüm kollarda gerekli olan bariyerler mevcut olsa idi;

- Birinci kol için gerekli puan sayısı 36 olarak bulunmuş olacaktık.
- İkinci kol için ise 34 olarak bulacaktık.

Kaza sonucunda ölüm sonucu için risk puanı F5C4 olarak aynen alınır zira CO<sub>2</sub> gaz dedektörü ile algılama ve kaçış maskesi ile ocağın terk edilmesi bariyeri de mevcut değildir o nedenle risk azaltımı yapılmaz.

Maden yangını ve çökme sonucu için ise iki ayrı bariyerin biri mevcut diğeri ise mevcut değildir. Yangın Söndürme tüpleri ile söndürme için risk azaltım puanı 6’dır.

Bu dururumda sonucun puanı;

- 11 – 6 = 5 puandır. Yani F4C3’tür.

Şekil 6.4’te sunulan akış diyagramına göre, proses sistem ve ekipmanının kritik bir hataya sebep vermesi söz konusu olmadığından Olay Ağacı Analizi (ETA) veya başka diğer analiz yöntemlerine başvurmaya gerek duyulmamıştır.

## 8.4. Papyon Analizi Örneği

**Kaza-4:** Olay, 17.09.2010 tarihinde saat 16:45 sıralarında agrega üretimi yapılan hafriyat ve madencilik firmasına ait taş ocağında meydana gelmiştir. İşyerinde hafriyat kamyonlarına mazot ikmal yapılan tanklara tanker ile dolum yapılmaktadır.

Taş ocağında çalışan S.G. ise tanker şoförüne eşlik etmektedir. Tanker, tank sahasına geldikten sonra boru hattına hortum bağlantısını tanker şoförü tarafından yapılır. Tankere statik elektrik maşası işyeri çalışanı S.G tarafından yapılır.

Tankerden dolum başlatılır ancak tankerden tanka dolum yapılırken bir taraftan da taş ocağının çalışanı S.G. tarafından motorinden açık kap ile boru hattından numune alınmaya çalışılır. S.G tarafından numune vanası açılıp açık kap usulü ile motorin alınırken motorinin bir kısmı da kaptan taşarak yere dökülür.

Motorinin zemine aktığını gören S.G. tarafından aynı kapalı kabin içerisinde bulunan motorin pompası durdurulur. Zemindeki döküntüyü temizlemek için malzeme almaya giden S.G. bir süre sonra geri gelir ve motorini döküntü kiti ile emdirerek numune alma vanasının yakınına bırakır.

Tanker yanına giderek boru bağlantısını tanker şoförü ile kontrol ettikten sonra geri döner ve kapalı kabin içinde bulunan numune alma vanasına yakın mesafede bulunan pompayı çalıştırır. Tam bu esnada parlama ile karışık patlama meydana gelir ve S.G. yanarak yaralanır. S.G.’ye ilk müdahale derhal işyerinde yapılır ve kendisi en yakın hastaneye nakledilir.

Hastanede üç ay yanık tedavisi gören S.G.’ye deri nakli ameliyatı da yapılır ancak kazazede çalışan iki ay sonra kurtarılamayarak vefat eder.

### KÖK NEDEN ANALİZİ:

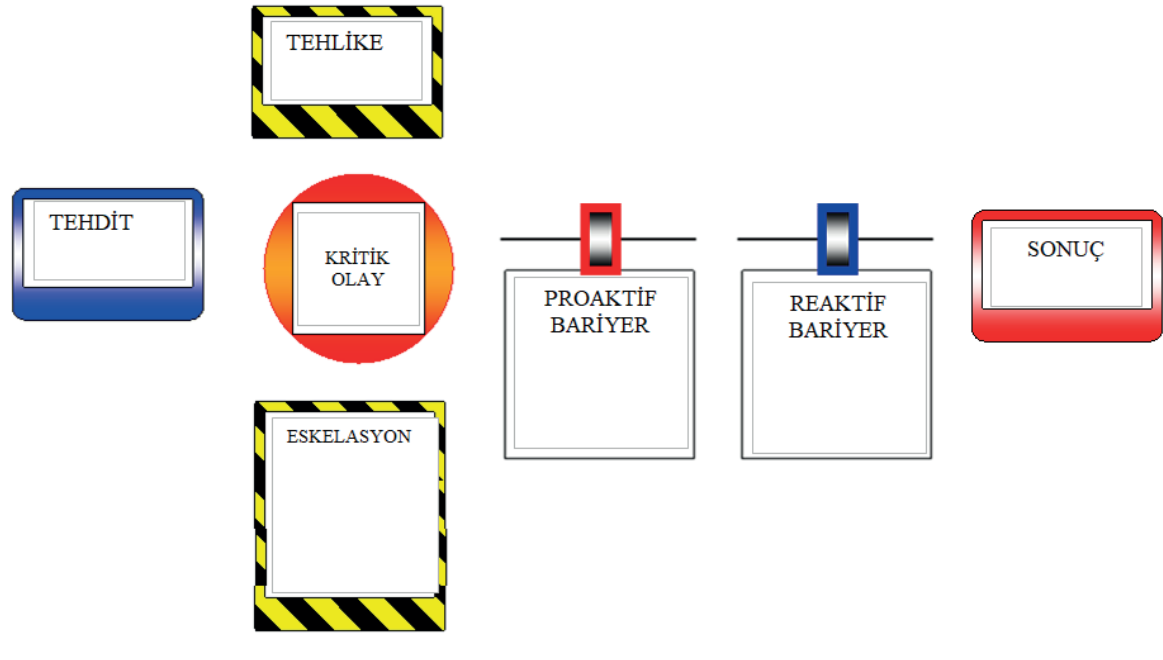
Söz konusu kaza Papyon Analizi Yöntemi ile analiz edilecektir.

**PAPYON ANALİZİ (BOW TIE ANALYSIS) KÖK NEDEN ANALİZİ SEÇİLME NEDENİ:** Şekil 6.4. (sayfa 40)’te verilen akış şemasına göre inceleme yapılacak olursa; kazada bir çalışan hayatını kaybetmiştir. Olay karmaşık detaylara ve birçok karmaşık kök nedenlere sahip olan bir kazadır. Bu olayda detayların kaçırılma ihtimali olabilecektir. Bu nedenle 5N ve 1K tekniği, Balık Kılıcı tekniği ile inceleme yeterli görülmemiştir.

İnceleme yapacağımız bu kaza proses, ekipman, prosedür, insan hatası içermektedir. Ayrıca söz konusu hataların birbirini tetiklemesi sonucunda Domino Taşları etkisi gözlenmiştir, bu nedenle Papyon Analizi tercih edilmiştir (Şekil 8.4).



Şekil 8.5'te verilen örnekte kullanılan işaretlemeler ve renkler papyon analizine özgü olacak şekilde verilmiştir.



Şekil 8.5 Papyon Analizi sembolleri ve anlamları

Bu kaza sonucunda sadece yaralanma veya uzuv kaybı olabileceksen maalesef ölümle sonuçlanmıştır. Papyon analizi yapılırken tüm olasılıkların değerlendirilmesi ve tüm çözüm önerilerinin ele alınması önemli olduğundan analizde tüm sonuçların değerlendirilmesi sağlanmalıdır.

Şekil 6.4'te sunulan akış diyagramına göre, proses sistem ve ekipmanının kritik bir hataya sebep vermesi söz konusu olmadığından Olay Ağacı Analizi (ETA) veya başka diğer analiz yöntemlerine başvurmaya gerek duyulmamıştır.



Maden iş kazaları nasıl oldu sorusuna cevap verilirken kazaya sebep veren koşullar, ortam şartları, fiziksel ve mekaniksel olaya katkıda bulunan iş ekipmanları vb. ile ilgili bilgi verilmelidir ve incelenmelidir.

## 8.5. Hata Ağacı Analizi Örneği

Hata Ağacı Analizi ile ilgili iki kaza analizi yapılmıştır. İlk kaza olasılık çözümü tek tek her kapı için manuel olarak hesaplanarak analiz edilmiştir. İkinci olarak da Bölüm 6.5'de verilmiş olan örnek domino analizindeki Yeni Zelanda'nın Güney Adası'nda Paparoa sıradağlarında bulunan Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde 19 Kasım 2010 tarihinde meydana gelen metan gazı patlaması için Hata Ağacı Analizi yapılmıştır.

Hata Ağacı Analizi ile kök neden analizi yapılabilmesi ve söz konusu kazanın tekrarlanma sıklığının da hesaplanması istenilirse bu durumda "Jenerik Data" olarak tabir edilen önceki kazalardaki olayların meydana gelme ihtimallerini içeren veriler gerekli olacaktır. Yine özellikle ekipman ve makine hatası söz konusu ise bu durumda da "Ekipman veya Enstrüman Hata Data"ları gerekecektir. Söz konusu "Jenerik Data"ların bir kısmı ücretli bir kısmı ise ücretsiz olarak kullanıma sunulmaktadır. Aşağıda incelenilen iki kaza için Tablo 8.1'de verilen "Jenerik Data"lar kullanılmıştır.

**Tablo 8.1** Fragola ve IChemE Kaza Verilerine Dayalı HEP (İnsan Hatası Olasılığı) Örnekleri

<b>Kök Sebep</b>	<b>Olasılık</b>
Prosedürde adım atlama	0.03
Test veya kalibrasyon prosedürünün kullanılmaması	0.05
<10 Maddeye kadar kontrol edilecek eylem için prosedürde ihmal yapılması	0.01
>10 Maddeye kadar kontrol edilecek eylem için prosedürde ihmal yapılması	0.03
<10 Maddeye kadar kontrol edilmeyen eylem için prosedürde ihmal yapılması	0.10
>10 Maddeye kadar kontrol edilmeyen eylem için prosedürde ihmal yapılması	0.30
Hatalı, uygun olmayan ekipman kullanımı, ekipman kullanım hataları	0.01
Kasti ekipmanların kullanım dışı bırakılma hatası	0.03
Yönetimsel olarak uygun olmayan uygulama yapılması	0.06
Manuel kontrolün yanlışlıkla çalıştırılması / çalıştırılmaması	0.03
Yanlış kontrollerin seçilmesi, ekipmanlara uygun olmayan bakım, montaj vb. uygulama yapılması	0.03
Bakım, onarım vb. spesifik işler için yanlış uygulama yapılması	0.01
Yanlış kontrollerin veya prosedür uygulamalarının yapılması	0.05
Yanlış işaretleme, yanlış mühendislik vb. uygulama hatası yapılması	0.005
Yanlış veya yetersiz, temizlik, düzensizlik, uygulama hatası yapılması	0.01
Yanlış malzeme seçimi, uygun olmayan yerde uygun olmayan malzeme seçimi ve uygulama hatası	0.05
Uzman denetleyici hatası ve raporlama hatası (prosedürlü rutin)	0.01
Uzman denetleyici hatası ve raporlama hatası (özel faaliyet)	0.10
Eğitim ve bilgi eksikliği	0.10
Hatalı işlem uygulanması	0.06
Alt yüklenici uygulama hatası	0.82
Tasarımsal hata yapılması	0.26
Dizayn veya prosedür hatası yapılması	0.22
Temizlik veya uygulama hatası	0.20
Hatalı talimat uygulanması, talimatlara uyulmaması	0.22
Yetersiz veya yanlış bakım ve koruma, prosedürel hata yapılması	0.24
Yetersiz standart uygulanması	0.52
Prosedür eksikliği	0.09
Operasyonel eksiklik	0.02
Yetkinlik eksikliği	0.30
Operasyon adımlarında atlama yapılması	0.15
Atmosfer test uygulamasının yapılmaması	0.15
Yönetim sistemi eksikliği/yetersizliği	0.09
Maden uygulama seviyeleri yetersiz	0.02
Müdahale prosedürleri yetersiz	0.41
Çalışma izni sistemi yetersiz	0.54
Eğitim yetersiz	0.50
Yetersiz yönetimsel uygulama/yetersiz yönetim	0.02
Prosedürlere, uyarılara, talimatlara, denetçi raporlarını ihmal etmek uymamak	0.01
Mühendislik dizayn hatası	0.26

Hata Ağacı Analizinde kullanılan ekipman ve enstrüman datası Tablo 8.2'de verilmiştir.

Tablo 8.2 Milyon Saat Başına Hata Hızları ve Aktif Tamir Hızları

Ekipman	Kaynak	Sayfa	Tüm Modlar	
			Hata Hızı	Aktif Tamir Hızı
			(milyon saat başına)	(Saat)
Dağıtılmış kontrol sistemleri	OREDA 2015	412	3.11	0
Genel proses sensörü, indikatörü, transmidi	OREDA 2015	387	9.98	18
Akış sensörü, transmidi ve göstergesi	OREDA 2015	389	3.63	0
Seviye sensörü, transmidi ve indikatörü	OREDA 2015	391	50.74	0
Pistonlu kompresör	OREDA 2015	88	422.56	15
Alev / gaz detektörü ya da sensörü	OREDA 2015	373	5.96	3.1
Proses kontrol vanası	OREDA 2015	489	38.03	16
Kompresör	OREDA 2015	63	443.05	15
Elektrik motoru	OREDA 2015	240	35.12	21
Acil durum kapatma küresel vanası	OREDA 2015	454	19.52	19
Sürücü	EIREDA	173	2.73	1
<b>Çek vana</b>	OREDA 2015	483	0.13	0
Havalandırma fanı	IAEA	101	2.50	1.5
Sprink sistemindeki diyaframli delug sistemi	OREDA 2015	443	38.94	7.3
Elektrik jeneratörü	OREDA 2015	211	0.07	2
Kompansatör	IAEA	158	0.0598	0
Elektrik motoru kontağı	EIREDA	159	1.60	0

**KAZA-5:** Olaydan yaklaşık 10 gün önce 900 metre uzunluğunda 625 taban yolunun aynasına yakın kısımdaki başyukarıda patlatma görevlisi olarak çalışan A.A. ve Z.B. başyukarı lağım (patlatma) delikleri delerek dinamitle şarj etmiş ve ardından deliklerini taban yolundan dinamito ile ateşleyerek patlatma gerçekleştirmiştir.

1 Temmuz 2005 tarihinde saat 23:00 sularında patlatma sonrası taban yolunun temizlenmesi görevi olay tarihinde sadece 35 günlük iş tecrübesi olan M.A.'ya verilmiştir. M.A. verilen direktif çerçevesinde patlatma sonrası oluşan pasa tabir edilen taş parçalarını el arabasıyla dışarı taşıyarak ortamın temizliğini yapmaya başlamıştır.

Bu işlem sırasında M.A. kendisinin kullanma izni ve ehliyeti bulunmadığı basınçlı hava ile çalışan darbeli delici ile büyük bir kaya parçasını delmeye başlamıştır. M.A. patlatma sırasında deliklerden birine yerleştirilmiş ancak patlamamış olan bir

dinamitin delgi yapmaya çalıştığı sırada patlaması sonucu vefat etmiştir.

Valilikten alınmış 26.06.2017 tarihine kadar geçerli Patlayıcı Madde Satın Alma ve Kullanma İzin Belgesi bulunduğu, izin belgesinde; bu patlayıcı maddeleri sadece B.S. ve Y.U. adlı C sınıfı Ateşleyici Yeterlilik Belgesi bulunan ateşleyicilerin kullanabileceği belirtilmiştir. Patlayıcı Madde Depolama İzin Belgesi bulunmadığı, mevcut satın alma ve kullanma izin belgesinde bir seferde depolanmaksızın kullanılacak patlayıcı miktarı; 150 kg dinamit, 1.200 adet kapsül, 1.250 metre fitil belirtilmiş olduğu, patlayıcı maddelerin hemen kullanılmadan, ocak içindeki koltuk ambarında illegal olarak depolanmış olduğu belirlenmiştir. Olay gününde dinamit ve kapsüller teslim alınıp ateşlenmiş gibi gösterilerek koltuk ambarında bekletilmiştir dolayısıyla kaçak bir işlem gerçekleştirilmiştir. İncelemede ocak içindeki koltuk ambarından 200 kg jelatinit dinamit ve sayısı belirlenemeyen bakır kovanlı elektrikli kapsül alınmış olduğu tespit edilmiştir.

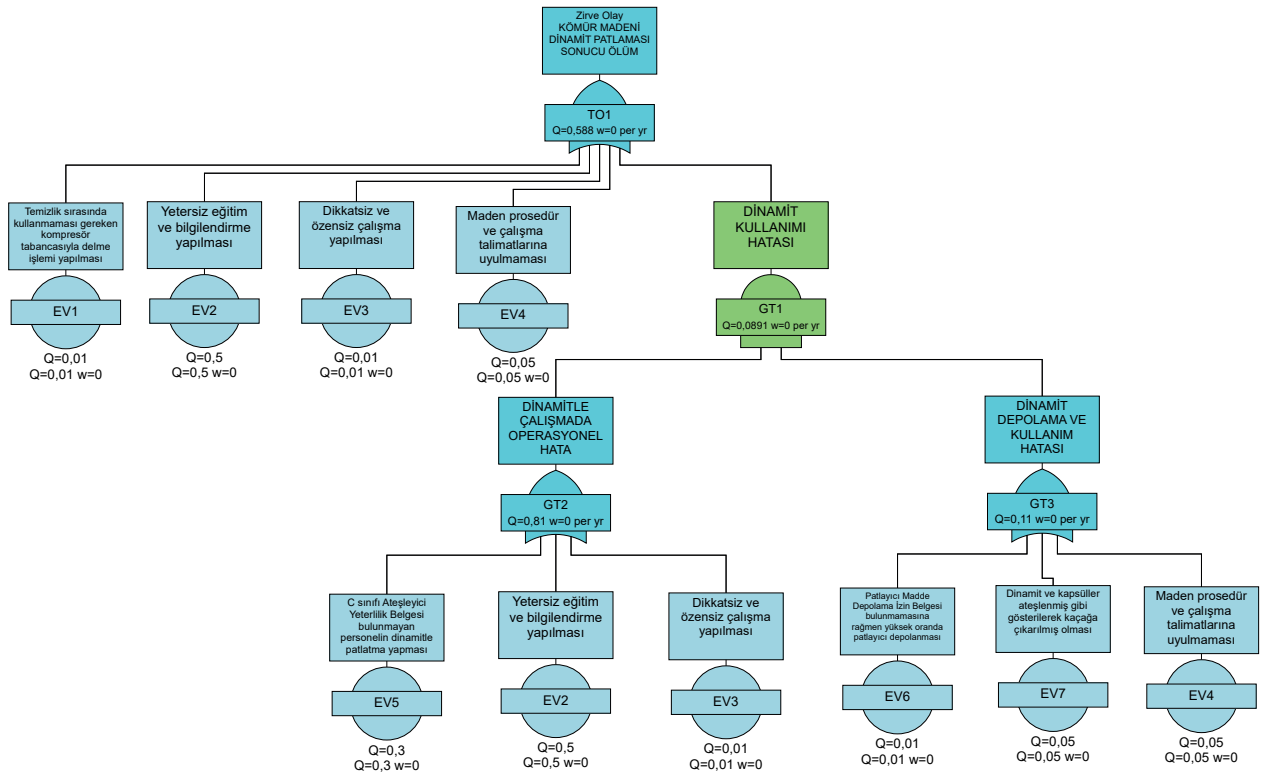
**KÖK NEDEN ANALİZİ:**

Söz konusu kaza Hata Ağacı Analizi tekniği ile analiz edilecektir.

**HATA AĞACI ANALİZİ KÖK NEDEN ANALİZİ SEÇİLMİŞ NEDENİ:** Şekil 6.4'te verilen akış şemasına göre inceleme yapılırsa; kazada bir çalışan vefat etmiştir. Ancak olay karmaşık detaylara sahiptir ve birçok karmaşık kök nedenlere sahip bir kazadır. Analiz seçimindeki akış şemasında Hata Ağacına giden sorumuz; "Kazadaki kök nedenlerin ve kontrol kaybına sebebiyet veren baskın hataların bulunmasını gerektiren bir kaza mıdır?" şeklindedir. Bu kazada birçok kök neden söz konusudur. Kök

nedenler içinde prosedür, yönetim, personel, ekipman vb. mevcuttur. Ayrıca bu kök nedenlerin bir kısmı birden fazla farklı durumlarda tekrar eden kök nedenlerdir ve tekrar tekrar meydana gelmiş olma ihtimali mevcuttur. Ayrıca söz konusu olay konusu daha önce farklı yer ve ülkelerde benzeri meydana gelmiş bir kazadır.

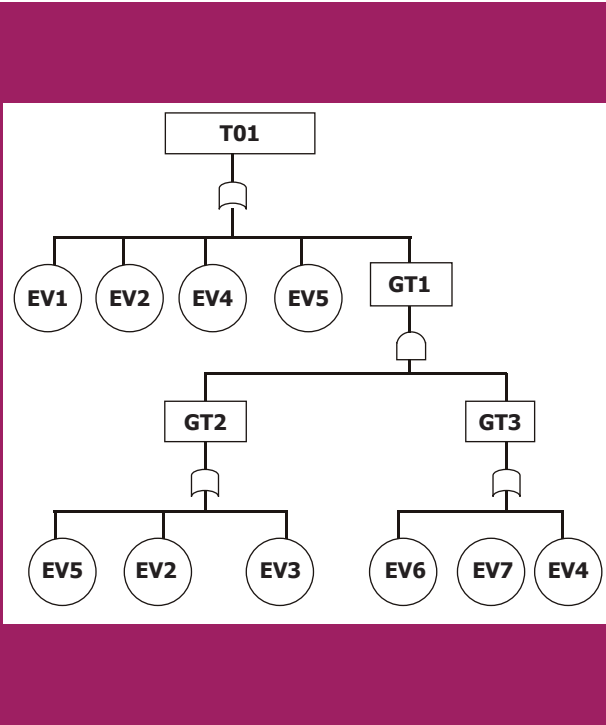
Bu kazanın analizi için Güvenlik Bariyer Analizi veya Papyon Analizi de tercih edilebilir. Ancak benzer ihlalin daha önce de yapılmış olması nedeni ile olayın meydana gelme ihtimali de hesaplanmak istenmiştir, bu nedenle de Hata Ağacı Analizi seçilmiştir (Şekil 8.6).

**HATA AĞACI ANALİZİ (FTA)**

Şekil 8.6 Hata Ağacı Analizi örneği

Bir kez hata ağacı çizildikten sonra, ağacın irdelenmesi gereklidir. Bu nitel ve/veya nicel olabilir. Nitel analiz, ağacın geliştirilmesi ile istenmeyen olayın yol açabileceği değişik bozulma kombinasyonları araştırmaya dayalıdır.

Bu farklı kombinasyonlar geleneksel olarak 'kesitler' olarak adlandırılır ve bu kavramı daha kesin olarak tanımlayabilmek için ardışık olarak güvenilirlik diyagramları tanımlamamız gereklidir. Olaya yönelik oluşturulan hata ağacının eşdeğer güvenilirlik diyagramı Şekil 8.7'de sunulmuştur. Güvenilirlik blok diyagramı tüm sistemin bozukluğunu elde etmeyi sağlayan, çeşitli bozukluk kombinasyonlarının aranmasına izin verir. Hata ağacı analizinin en büyük özelliği, ağacın Boole Cebiri kullanılarak sadeleştirilebilmesi ve meydana çıkan minimal ağaç sayesinde de zirve olayı meydana getiren esas olayların olasılıklarının hesaplanabilmesine olanak sağlamasıdır. Örneğimizi Boole Cebiri kullanarak sadeleştirelim;



**Şekil 8.7** Örnek Hata Ağacı Kapı Numaraları

$$T01 = GT1 + EV1 + EV2 + EV3 + EV4$$

$$GT2 = EV5 + EV2 + EV3$$

$$GT3 = EV6 + EV7 + EV4$$

$$GT1 = GT2 \times GT3$$

$$GT1 = (EV5 + EV2 + EV3) \times (EV6 + EV7 + EV4)$$

$$T01 = (EV5 + EV2 + EV3) \times (EV6 + EV7 + EV4) + EV1 + EV2 + EV3 + EV4$$

$$T01 = (EV5 \times EV6) + (EV5 \times EV7) + (EV5 \times EV4) + (EV2 \times EV6) + (EV2 \times EV7) + (EV2 \times EV4) + (EV3 \times EV6) + (EV3 \times EV7) + (EV3 \times EV4) + EV1 + EV2 + EV3 + EV4$$

$$T01 = (EV5 \times EV6) + (EV5 \times EV7) + EV4 + (EV5 \times EV4) + (EV2 \times EV6) + EV2 + (EV2 \times EV7) + (EV2 \times EV4) + EV3 + (EV3 \times EV6) + (EV3 \times EV7) + (EV3 \times EV4) + EV1$$

$$T01 = (EV5 \times EV6) + (EV5 \times EV7) + EV4 + (EV2 \times EV6) + EV2 + (EV2 \times EV4) + EV3 + (EV3 \times EV7) + (EV3 \times EV4) + EV1$$

$$T01 = (EV5 \times EV6) + (EV5 \times EV7) + (EV2 \times EV6) + EV2 + (EV2 \times EV4) + EV3 + (EV3 \times EV7) + EV4 + (EV3 \times EV4) + EV1$$

$$T01 = (EV5 \times EV6) + (EV5 \times EV7) + EV2 + (EV2 \times EV6) + EV3 + EV4 + EV1$$

$$T01 = (EV5 \times EV6) + (EV5 \times EV7) + EV2 + EV3 + EV4 + EV1 \quad \text{Minimal Cut Set}$$

Hata Ağacındaki Hata olasılıkları aşağıda verilmiştir (Tablo 7.9'dan alınmıştır);

EV1: 0,01 EV2: 0,5 EV3: 0,01 EV4: 0,05 EV5:0,3  
EV6: 0,01 EV7:0,05

Yukarıdaki budanmış ağaca (minimal cut set) konulduğunda T01 (Zirve Olay) olasılığı hesaplanır:

$$T01 = (0,05 \times 0,01) + (0,3 \times 0,05) + 0,5 + 0,01 + 0,05 + 0,01$$

T01 = 0.588 olarak bulunur. Yani bu olayın aynı koşullar altında tekrar etme olasılık değeri %58 olarak bulunmuştur (Tablo 8.3).

**Tablo 8.3** Hata Ağacı Analizi örneği kapı sonuçları

Hata Ağacı Kapı Sonuçları								
ID	Hata Ağacı Kapı Açıklamaları	Kullanılamazlık (Unavailability)	Frekans (.../yıl)	Hassaslık Analizi (Sensitivity Analysis)	Güvenilmezlik (Unreliability)	Kullanılamazlık (Unavailability) Alt Sınır	Mimumum Kesme Kümesi (Cutset) Sayısı	Kullanılan Metot
GT1	DİNAMİT KULLANIMI HATASI	0.09	0	0	0	0	9	Rare
GT2	DİNAMİTLE ÇALIŞMADA OPERASYONEL HATA	0.81	0	0	0	0	3	Rare
GT3	DİNAMİT DEPOLAMA VE KULLANIM HATASI	0.11	0	0	0	0	3	Rare
TO1	Zirve Olay KÖMÜR MADENİ DİNAMİT PATLAMASI SONUCU ÖLÜM	0.59	0	0	0	0	6	Rare

Şekil 6.4'te sunulan akış diyagramına göre, proses sistem ve ekipmanının kritik bir hataya sebep vermesi söz konusu olmadığından bu kaza için Olay Ağacı Analizi (ETA) veya başka diğer analiz yöntemlerine başvurmaya gerek duyulmamıştır.

**KAZA-6:** Pike River Yeraltı Kömür Madeni Güney Adası'nın Batı Kıyısı'ndaki engebeli Paparoa Sıradağları'nın yükseklerinde yer almaktadır. Üretim bölgesine erişim, Brunner kömür damarını kesmek için karmaşık jeolojik faylı yapı boyunca yeryüzüne doğru uzanan 2.3 km'lik tek bir desandre yoluyla sağlanmaktaydı.

19 Kasım 2010 Cuma günü saat 15:45'te madende patlama meydana geldi. Patlama sırasında 31 madenci ve alt yüklenici personeli yeraltında bulunmaktadır. Maden çalışmalarından biraz uzakta taştta sürülmüş galeride bulunan iki kişi kaza etkilerinden kaçmayı başarmıştır. Bu iki madenci madenden yürüyerek çıkmayı başarmış ve orta dereceli yaralanmayla tedavi görerek kurtulabilmişlerdir. Kalan 16 madenci ve 13 alt yüklenicinin, ilk patlama sırasında madenin girişinden en az 1.5 km uzakta oldukları düşünülmüştü.

24 Kasım Çarşamba günü meydana gelen ikinci patlama, içerde kalanların hayatta kalma umutlarını söndürmüştür. Takip eden günlerde 26 ve 28 Kasım'daki müteakip patlamalar ocağa giriş tamamen güvensiz hale getirmiştir. Acil durum odağı, cesetlerin kurtarılmasına dönüşmüştür. Sonraki dokuz gün boyunca maden kapatılmadan önce üç kez daha patlamıştır. Hali hazırda ocağa erişim bulunmamaktadır.

29 Kasım 2010'da Yeni Zelanda Başbakanı, hükümetin bir kraliyet komisyonu kurma niyetini açıklamıştır. Aralık 2010'da komisyonun görev tanımı ve üç komisyon üyesinin atanması gerçekleştirilmiştir. Komisyondan ayrıca maden felaketlerinin önlenmesi, arama, kurtarma ve kurtarma operasyonlarının iyileştirilmesi, madencilik yasası ve uygulamasında gerekli değişiklikler ve yeniden açılmaması halinde Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nin nasıl güvenli hale getirileceği konusunda tavsiyelerde bulunması istenmiştir.

Pike River Yeraltı Kömür Madeni trajedisi Kraliyet Komisyonu'nun tüm taraflara verilen açık raporunun incelemesine müteakip aşağıda olayın domino taşları çıkarılmıştır. Özellikle kök neden analizi

yapacak uzmanların karmaşık ve birbirini domino eden unsurların varlığı durumunda kök neden analizine başlamadan önce "Domino Etki Analizi" yaparak kontrol kayıplarını değerlendirmesi ve sonrasında analize başlamaları kolaylık sağlayacaktır.

Bu sebeple söz konusu kazanın önce domino etkileri analizi Bölüm 6.5'te yapılmış, sonrasında bu domino taşlarına göre Hata Ağacı Analizi gerçekleştirilmiştir.

### **KÖK NEDEN ANALİZİ:**

Söz konusu kaza, Hata Ağacı Analizi tekniği ile analiz edilecektir.

### **HATA AĞACI ANALİZİ KÖK NEDEN ANALİZİ SEÇİLMİŞ NEDENİ:**

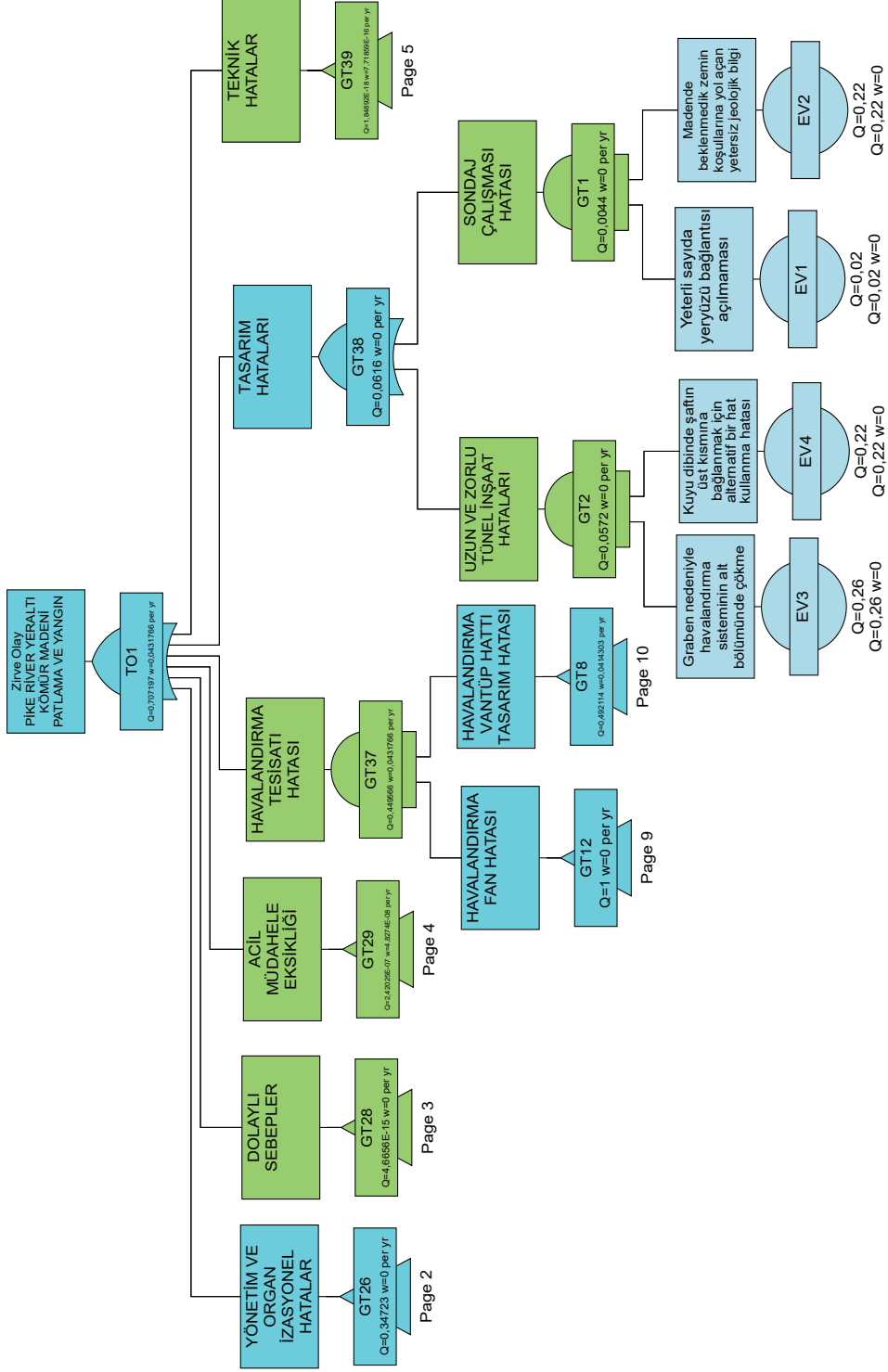
Şekil 6.4'te verilen akış şemasına göre incelendiğinde bu kazada birçok çalışanın vefat ettiği görülecektir. Olay karmaşık detaylara sahiptir ve birçok karmaşık kök nedene sahip bir kazadır. Olay gelişimi takip edildiğinde kazadaki kök nedenlerin ve kontrol kaybına sebebiyet veren baskın hataların bulunduğu açıktır.

Bu kazada birçok kök neden söz konusudur. Bu kök nedenlerin bir kısmı birden fazla farklı durumlarda tekrar eden kök nedenlerdir ve tekrar tekrar meydana gelmiş olma ihtimali mevcuttur.

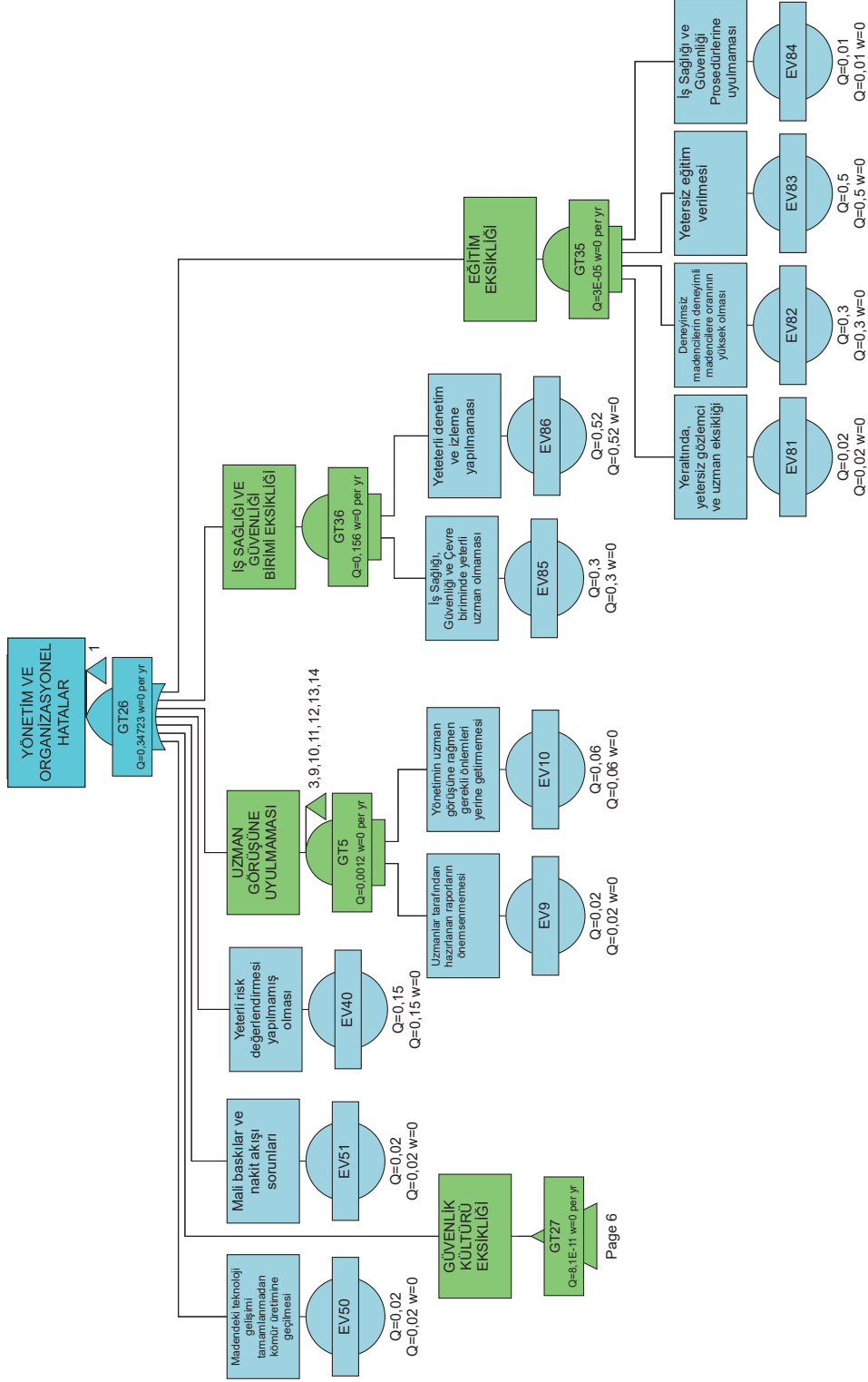
İnceleme yapmış olduğunuz kaza için tespit ettiğiniz kök nedenler 5 nedenden fazla ve proses, ekipman, prosedür, insan hatası içermektedir. Ayrıca söz konusu hataların birbirini tetiklemesi ve Domino Taşları gibi devrilerek etkisiz kalması söz konusudur, bu nedenle Güvenlik Bariyer Analizi veya Papyon Analizi tekniği de tercih edilebilir. Ancak olayın gelişimin çok detaylı olması, karmaşıklığı ve baskın hataların tespit edilmesinin yeterli gelmeyeceğinin düşünülmesi ve bu baskın hataların meydana gelme ihtimalinin de değerlendirilmesinin uygun olduğu kanaatine varılmış olması sebebi ile Hata Ağacı Analizi seçilmiştir.

Aşağıda ISOGRAPH Reliability Workbench yazılımı ile gerçekleştirilen analizde sunulduğu üzere Q; kullanıma hazır olma, w; frekans, EV; kök neden numarası, GT ise kapı numarası olarak kullanılmaktadır (Şekil 8.8 - Şekil 8.24).

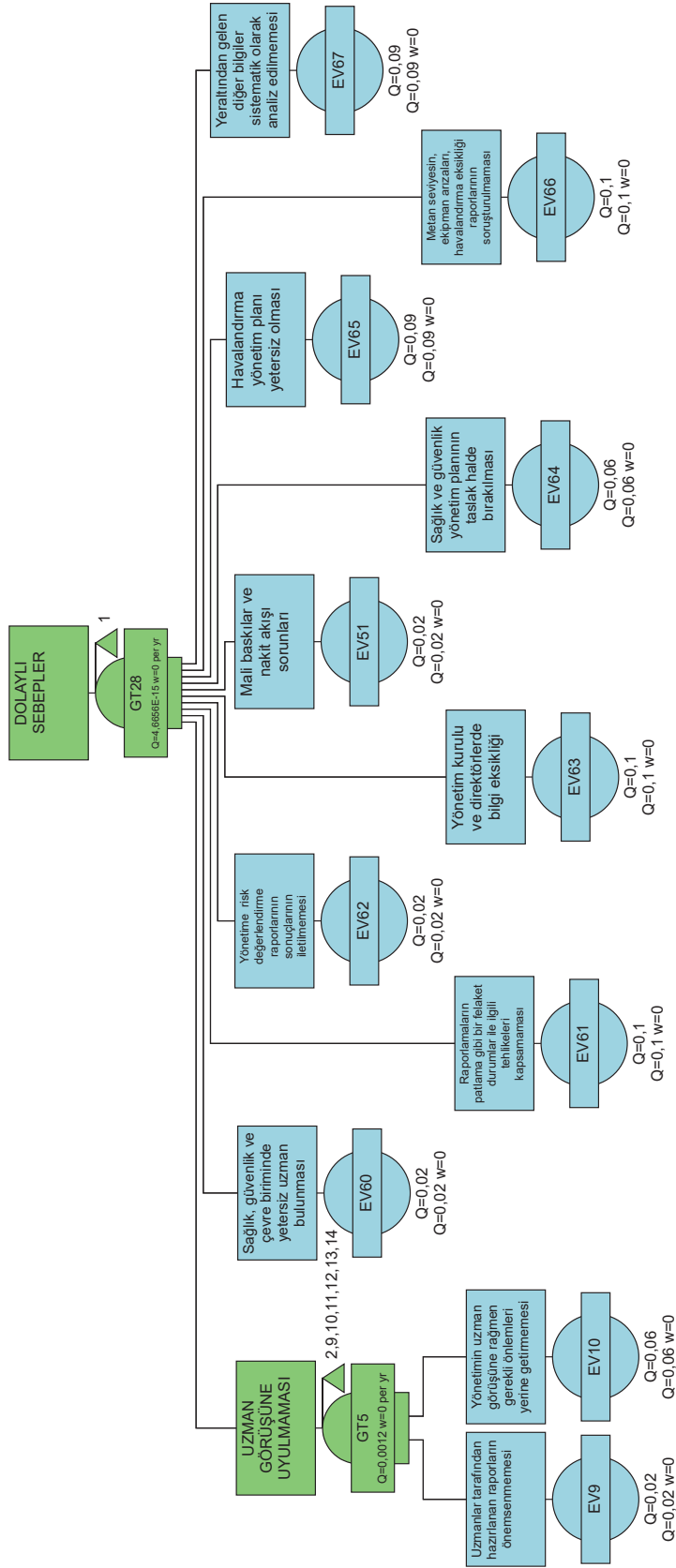
## HATA AĞACI ANALİZİ (FTA)



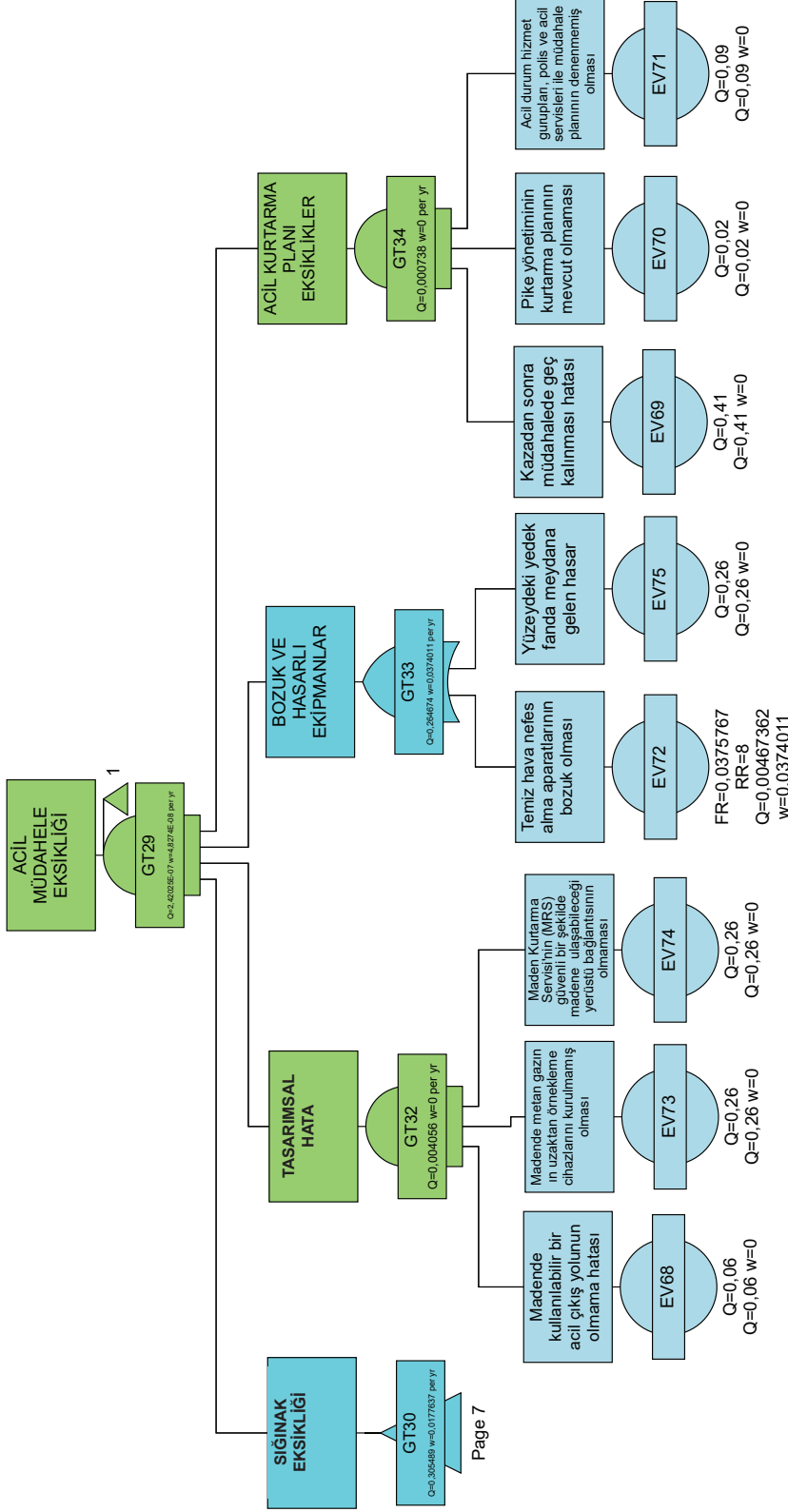
Şekil 8.8 Örnek Hata Ağacı Analizi – Zirve Olay.



Şekil 8.9 Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Yönetim ve Organizasyonel Hataları Kapısı).

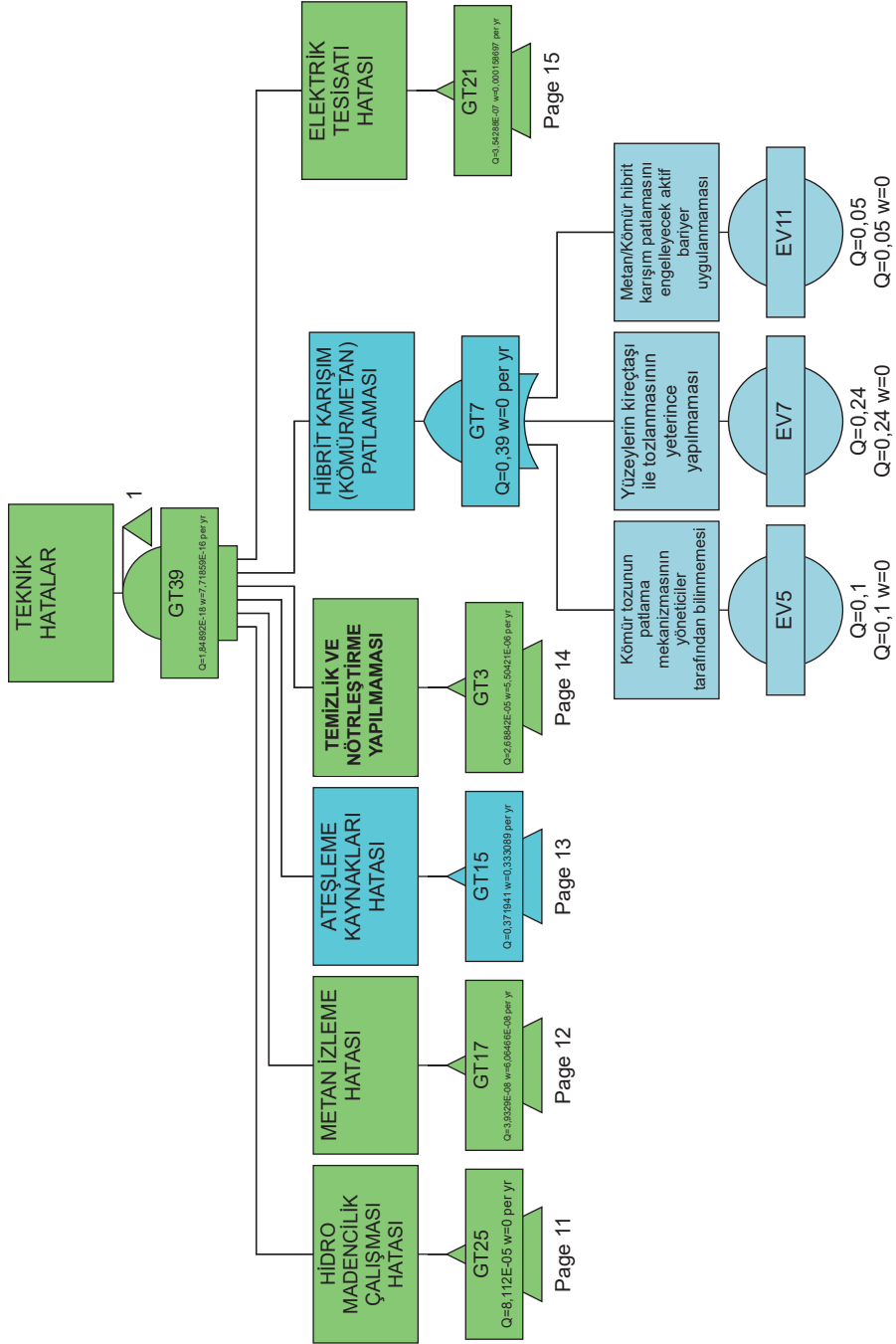


Şekil 8.10 Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Dolaylı Sebepler Kapısı).

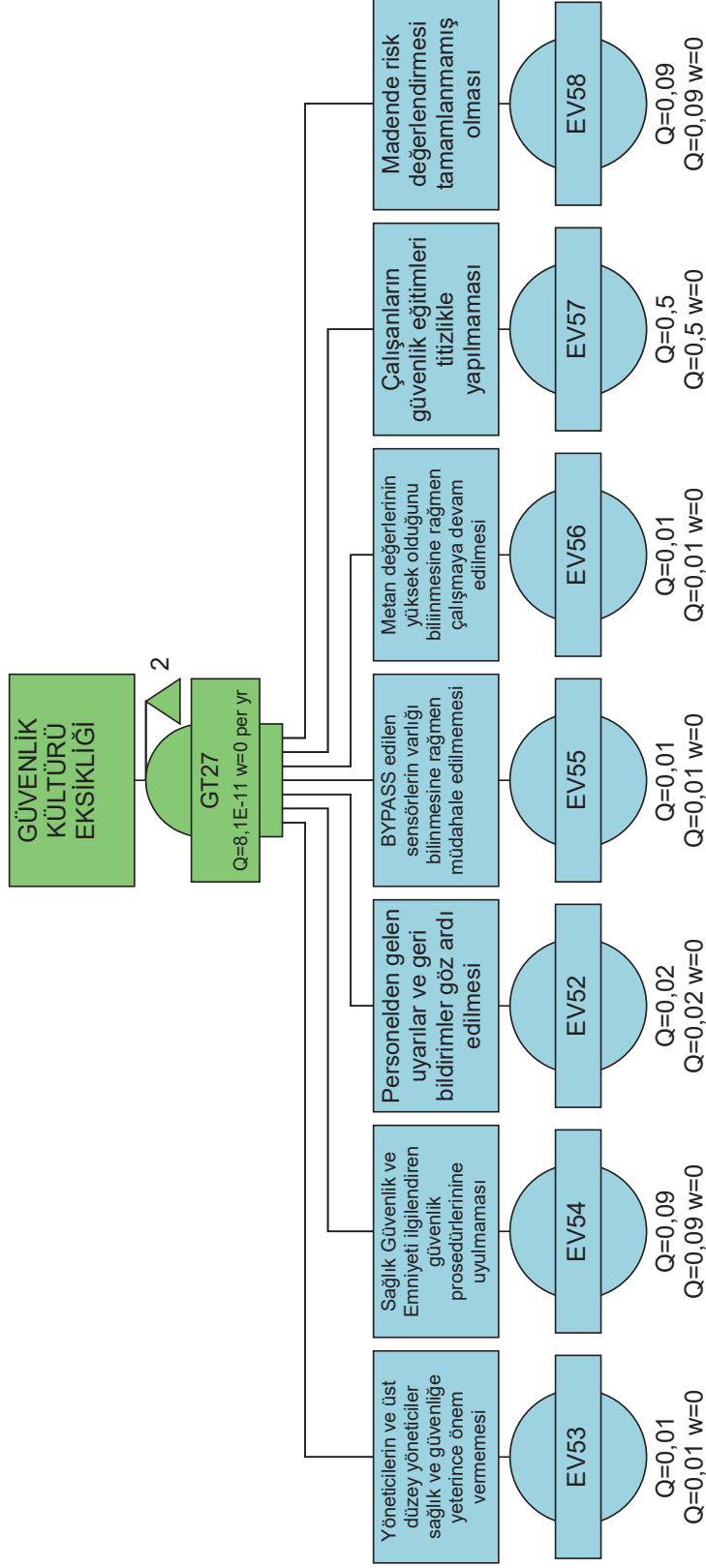


Page 7

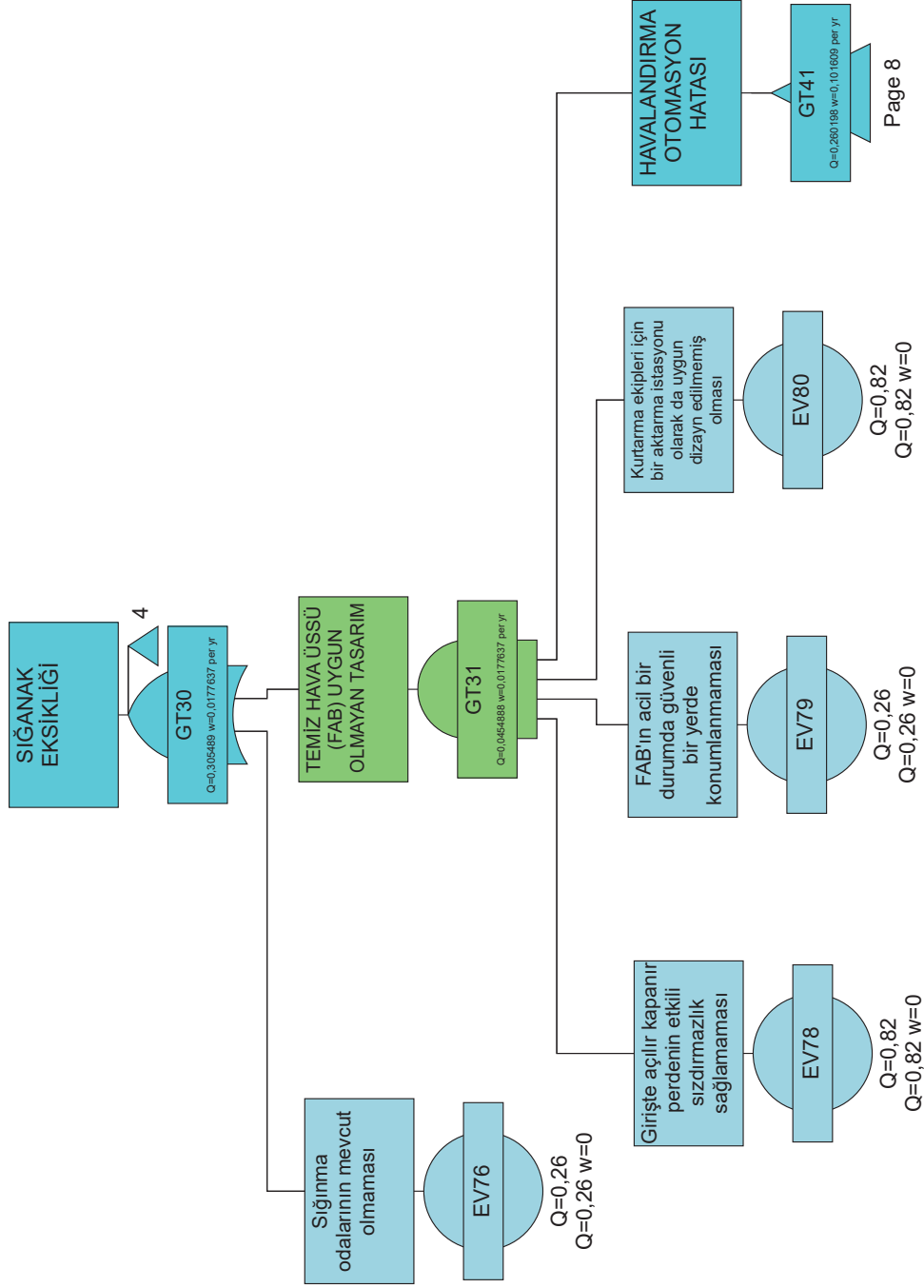
Şekil 8.11 Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Acil Müdahale Eksikliği Kapısı).



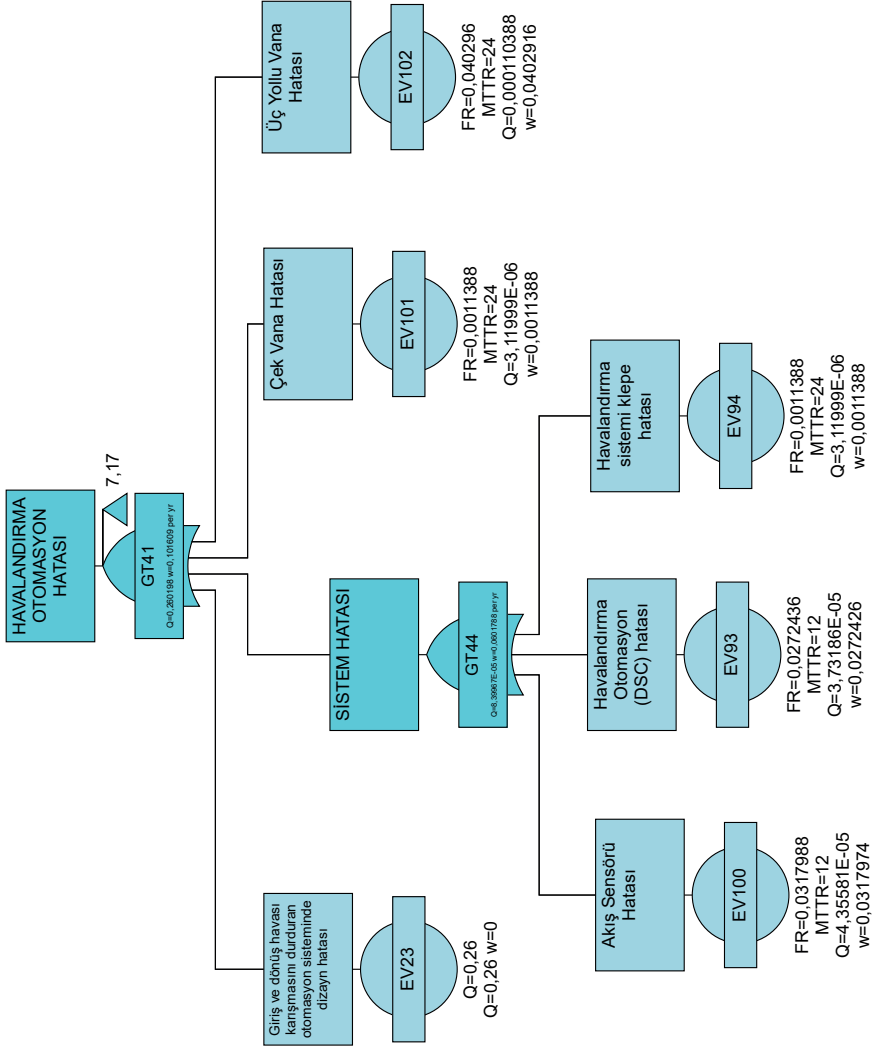
Şekil 8.12 Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Teknik Hatalar Kapsı).



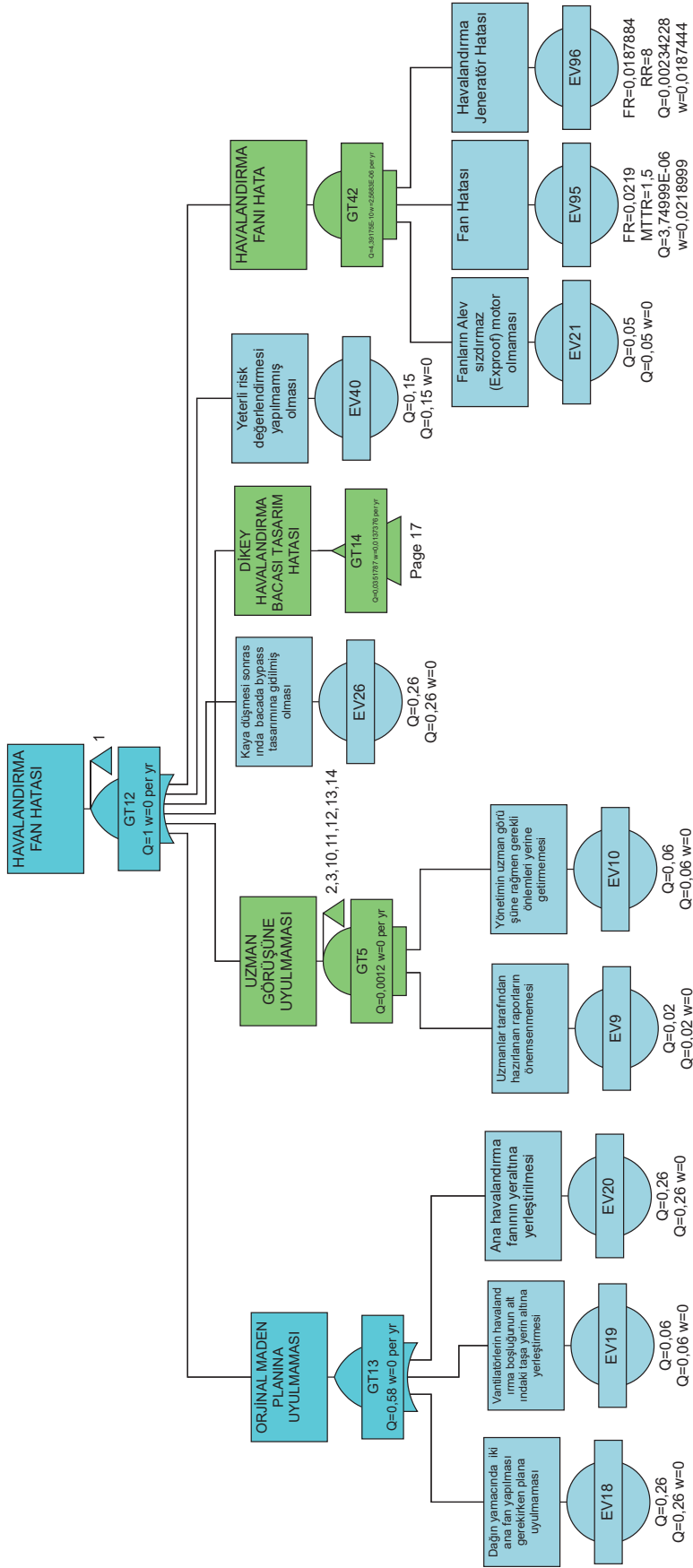
Şekil 8.13 Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Güvenlik Kültürü Eksikliği Kapısı).



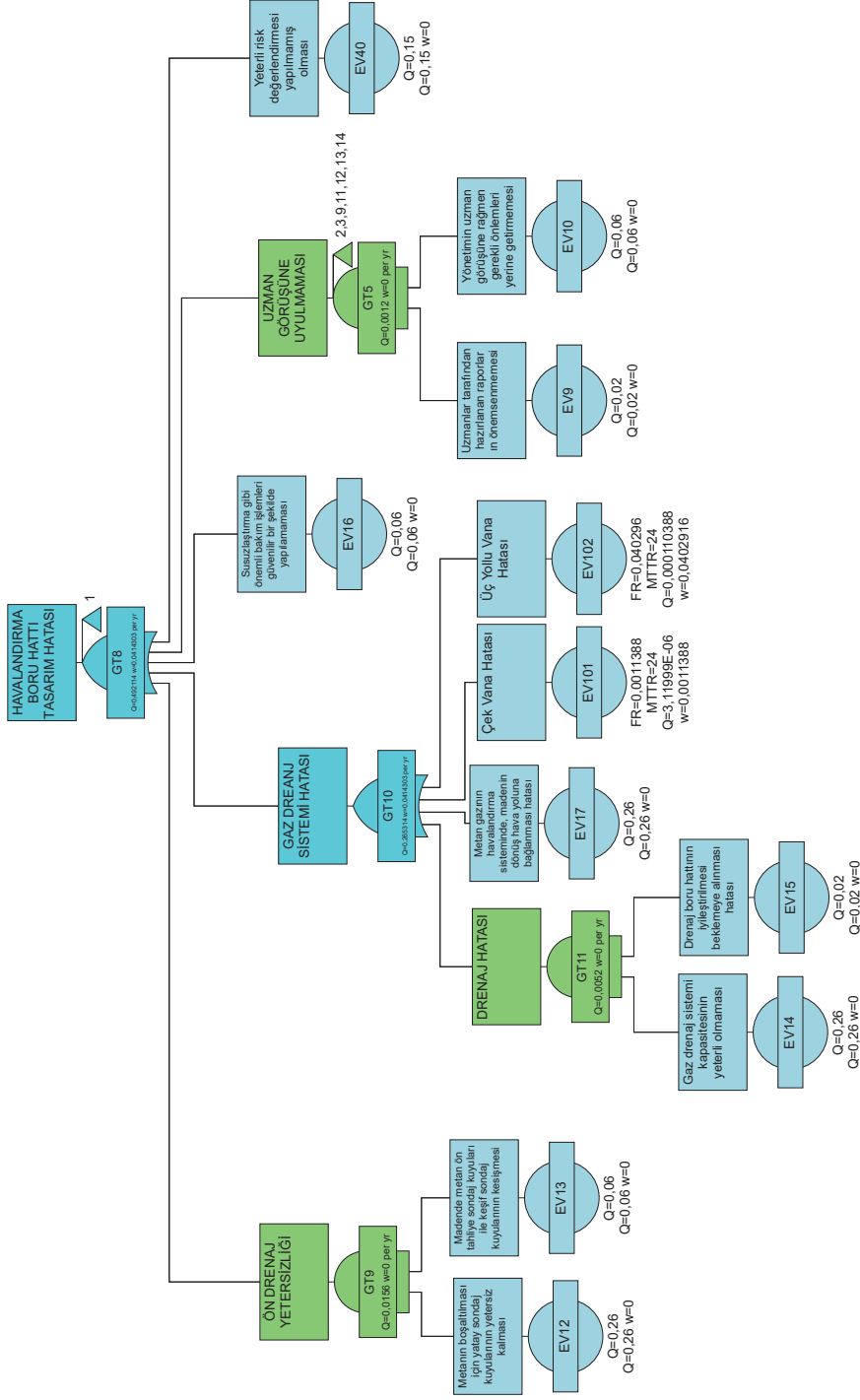
Şekil 8.14 Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Sığınak Eksikliği Kapısı).



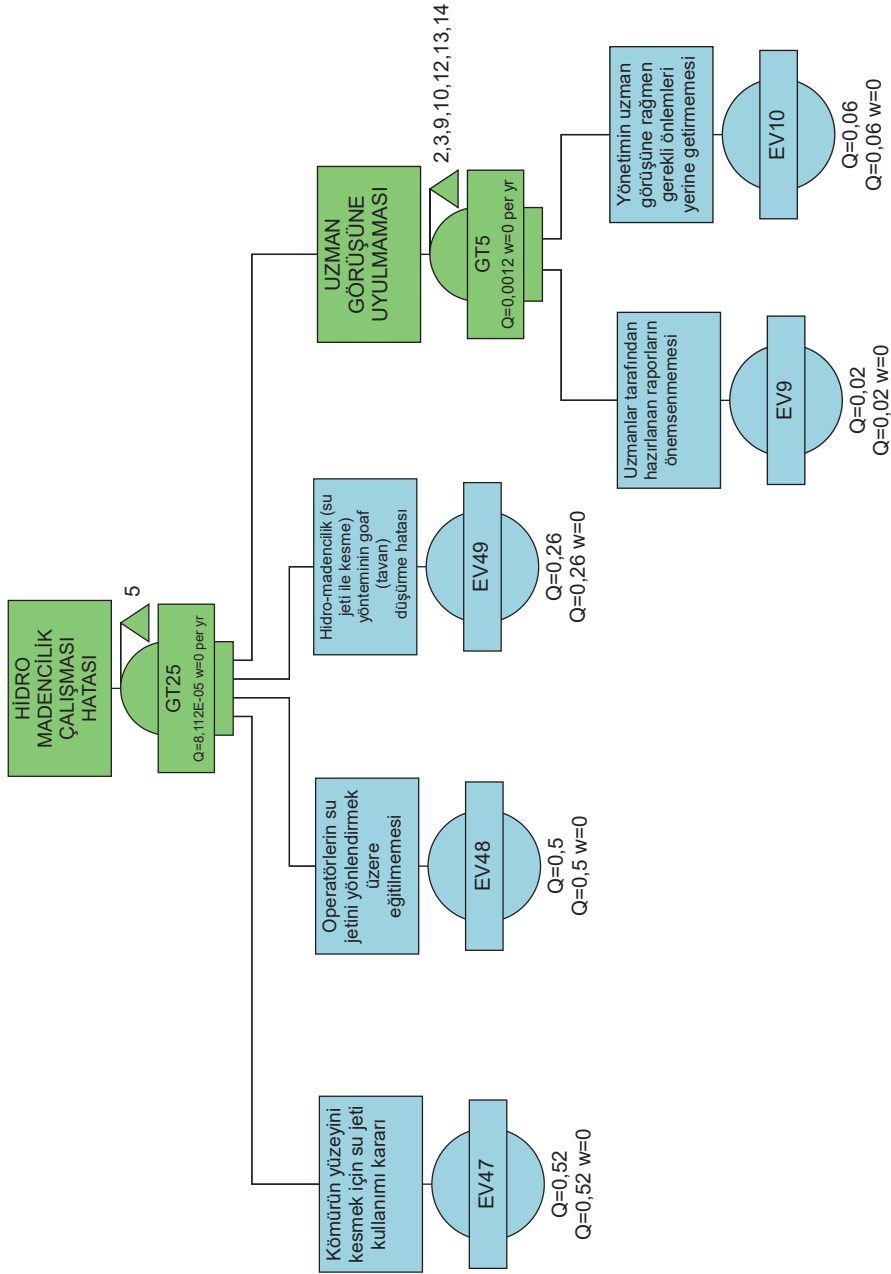
**Şekil 8.15** Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Havalandırma Otomasyon Hatası Kapısı).



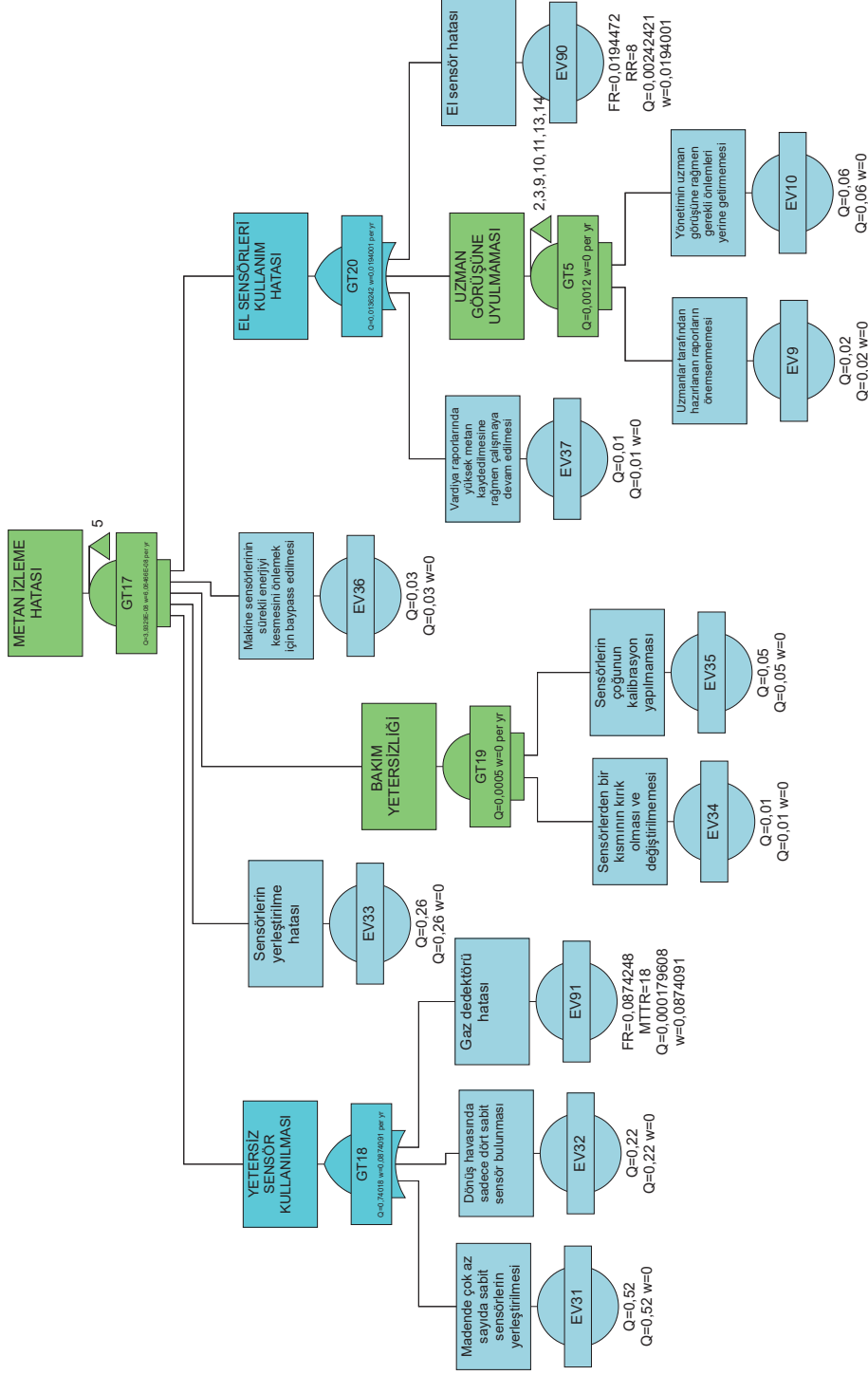
Şekil 8.16 Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Havalandırma Fan Hatası Kapsısı).



Şekil 8.17 Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Havalandırma Boru Hattı Tasarım Hatası Kapsısı).

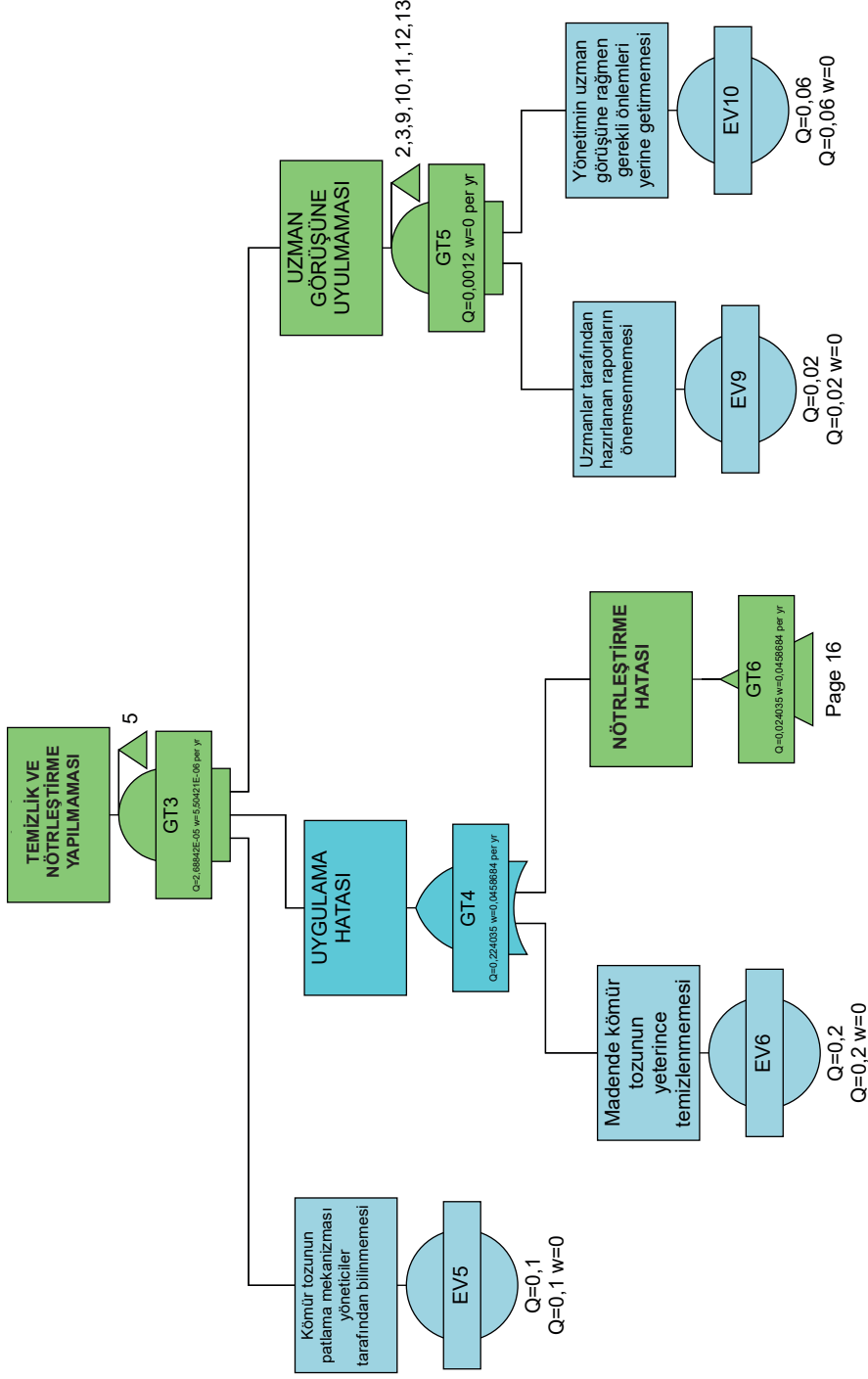


**Şekil 8.18** Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Hidro Madencilik Çalışması Hatası Kapısı)..



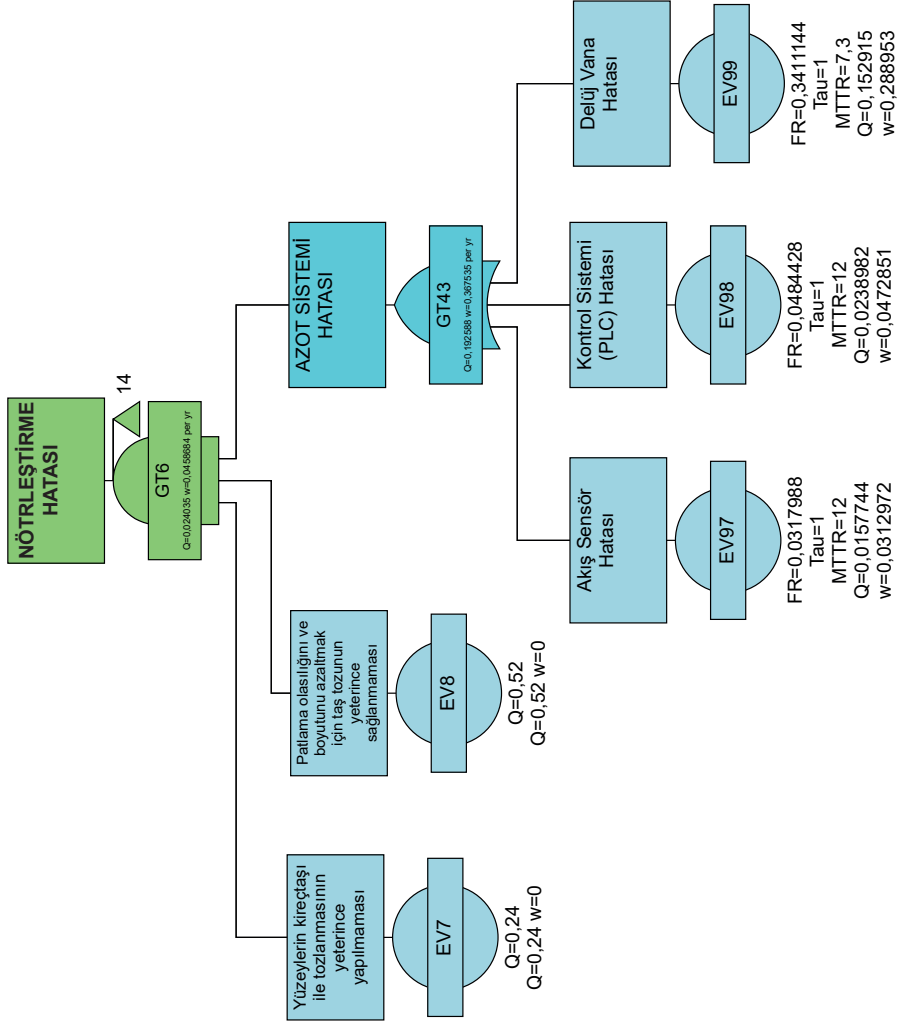
Şekil 8.19 Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Metan İzleme Hatası Kapısı).



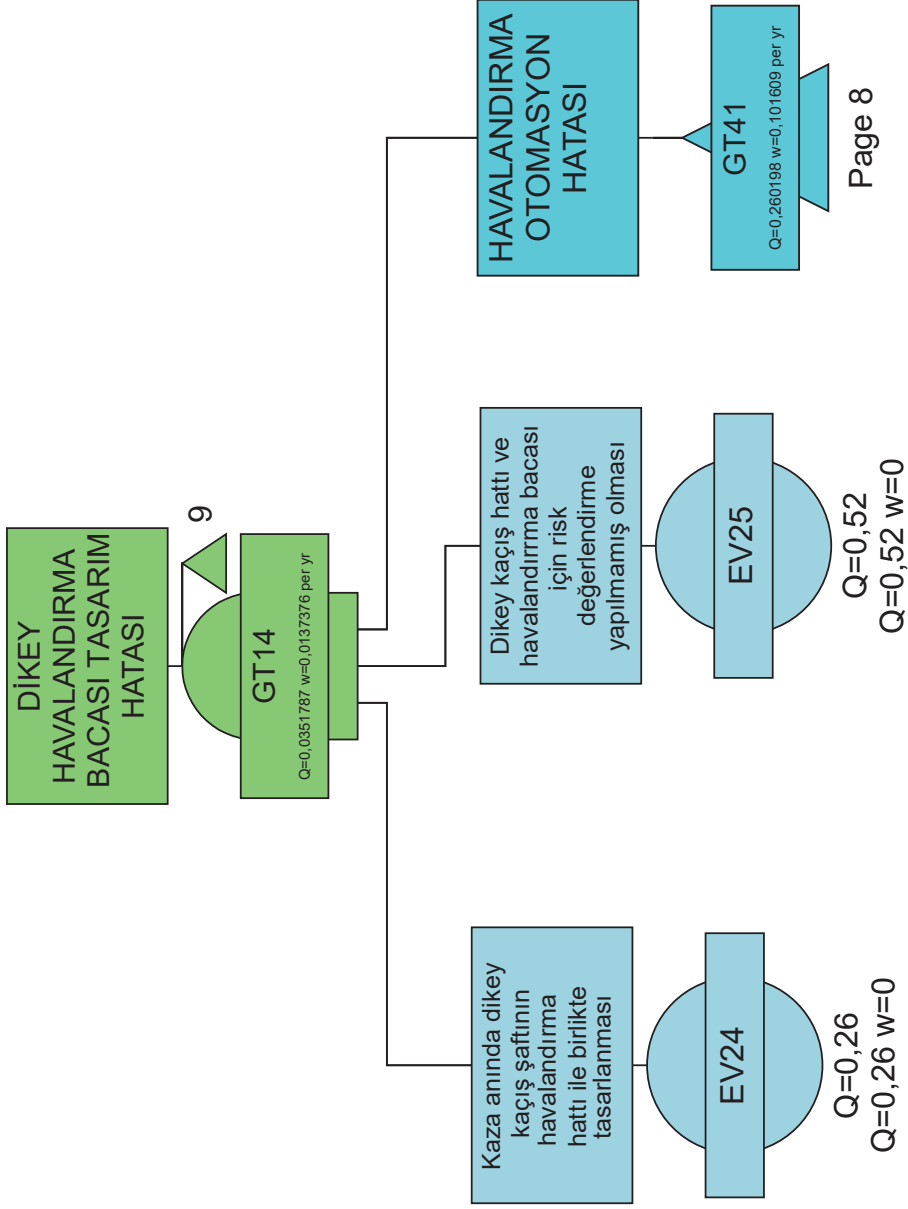


Şekil 8.21 Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Temizlik ve Nötrleştirme Yapılmaması Hatası Kapısı).





Şekil 8.23 Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Nötrleştirme Yapılmaması Hatası Kapısı).



**Şekil 8.24** Örnek Hata Ağacı Analizi - Devamı (Dikey Havalandırma Bacası Tasarım Hatası Kapısı).

Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde meydana gelen patlama ve yangın olayı oldukça karmaşık ve fazla kök nedene sahip bir kazadır. Bu nedenle kaza Hata Ağacı Analizi ile incelenmiştir. Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde meydana gelen patlama ve yangın olayı için hata ağacı çizildikten sonra, ağacın hata ağacı kapı sonuçları yukarıda verilmiştir.

Hata Ağacı Analizinin en büyük özelliği, ağacın Boole Cebiri kullanılarak sadeleştirilebilmesi ve meydana çıkan minimal ağaç sayesinde de zirve olayı meydana getiren esas olayların olasılıklarının hesaplanabilmesine olanak sağlamasıdır.

Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde meydana gelen kazada birçok kapının olması ve ağacın çok büyüyen bir sayfaya sığmaması nedeni ile farklı sayfalarda "Aktarma Kapıları" kullanılmıştır. Kapıların yan kısmında bulunan üçgen işareti kapının bir önceki hata ağacındaki kapı için devam ettiğini göstermektedir. Kapıları "GT" numaraları ile takip edebilirsiniz.

Hata Ağacı Analizinde özellikle Boole Cebiri için sadeleştirme yapılarak hesaplanmış olduğunu belirtmek gerekir. Özellikle bu kadar büyük hata ağacı ve olay ağacı analizleri için bu yöntemlere özel yazılım kullanılması önerilmektedir. Söz konusu örneğimiz için de yazılım kullanılarak hesaplama yapılmıştır. Bu tür kaza analizleri için elle hesaplama yapılabilir ancak özellikle Boole Cebiri ile ortak nedenli hataların daha kolay sadeleştirilebilmesi için yazılım kullanılması da düşünülmelidir. Hata Ağacı Analizi ile Olay Ağacı Analizleri için hem ücretli hem de ücretsiz çok fazla yazılım bulunmaktadır.

Zirve olayın frekans ve olasılık değeri ise Pike River Yeraltı Kömür Madeni'nde meydana gelen patlama ve yangın olayının aynı koşullar altında tekrar etme olasılık değerini göstermektedir. Söz konusu kaza olayı için zirve olayın tekrar etme olasılık değerleri aynı koşullar için %70.7 olarak bulunmuştur.

Tablo 8.4 Örnek Hata Ağacı Analizi Sonuçları

Hata Ağacı Kapı Sonuçları									
ID	Hata Ağacı Kapı Açıklamaları	Kullanılamazlık	Frekans (.../ yıl)	Hassaslık Analizi	Güvenilemezlik	Kullanılamazlık Alt Sınır	Minimum Kesme Kümesi Sayısı	Kullanılan Metot	
GT1	SONDAJ ÇALIŞMASI HATASI	4.4x10 <sup>-3</sup>	0	0	0	0	1	Rare	
GT10	GAZ DRENAJ SİSTEMİ HATASI	2.653x10 <sup>-1</sup>	4.143x10 <sup>-2</sup>	5.639x10 <sup>2</sup>	5.483x10 <sup>-2</sup>	0	4	Rare	
GT11	DRENAJ HATASI	5.2x10 <sup>-3</sup>	0	0	0	0	1	Rare	
GT12	HAVALANDIRMA FAN HATASI	1	0	0	1	0	9	Rare	
GT13	ORJİNAL MADEN PLANINA UYULMAMASI	5.8x10 <sup>-1</sup>	0	0	0	0	3	Rare	
GT14	DİKEY HAVALANDIRMA BACASI TASARIM HATASI	3.518x10 <sup>-2</sup>	1.374x10 <sup>-2</sup>	1.424x10 <sup>2</sup>	1.414x10 <sup>-2</sup>	0	4	Rare	
GT15	ATEŞLEME KAYNAKLARI HATASI	3.719x10 <sup>-1</sup>	3.331x10 <sup>-1</sup>	5.303x10 <sup>-1</sup>	4.116x10 <sup>-1</sup>	0	7	Rare	
GT16	EXPROOF EKİPMAN EKSIKLİĞİ	0.1	0	0	0	0	2	Rare	
GT17	METAN İZLEME HATASI	3.933x10 <sup>-8</sup>	6.065x10 <sup>-8</sup>	6.065x10 <sup>-8</sup>	6.065x10 <sup>-8</sup>	0	3	Rare	

GT18	YETERSİZ SENSÖR KULLANILMASI	7.402x10 <sup>-1</sup>	8.741x10 <sup>-2</sup>	3.364x10 <sup>-1</sup>	2.857x10 <sup>-1</sup>	0	3	Rare
GT19	BAKIM YETERSİZLİĞİ	5x10 <sup>-4</sup>	0	0	0	0	1	Rare
GT2	UZUN VE ZORLU TÜNEL İNŞAAT HATALARI	5.72x10 <sup>-2</sup>	0	0	0	0	1	Rare
GT20	EL SENSÖRLERİ KULLANIM HATASI	1.362x10 <sup>-2</sup>	1.94x10 <sup>-2</sup>	1.967x10 <sup>-2</sup>	1.948x10 <sup>-2</sup>	0	3	Rare
GT21	ELEKTRİK TESİSATI HATASI	3.543x10 <sup>-7</sup>	1.587x10 <sup>-4</sup>	1.587x10 <sup>-4</sup>	1.587x10 <sup>-4</sup>	0	10	Rare
GT22	ELEKTRİK TESİSAT KURULUM HATASI	3.432x10 <sup>-3</sup>	0	0	0	0	1	Rare
GT23	EXPROOF EKİPMAN YETERSİZLİĞİ	9.304x10 <sup>-1</sup>	0	0	0	0	5	Rare
GT24	DEĞİŞKEN HIZLI SÜRÜCÜ (VSD) HATASI	3.75x10 <sup>-4</sup>	0	0	0	0	1	Rare
GT25	HİDRO MADENCİLİK ÇALIŞMASI HATASI	8.112x10 <sup>-5</sup>	0	0	0	0	1	Rare
GT26	YÖNETİM VE ORGANİZASYONEL HATALAR	3.472x10 <sup>-1</sup>	0	0	0	0	7	Rare
GT27	GÜVENLİK KÜLTÜRÜ EKSİKLİĞİ	8.1x10 <sup>-11</sup>	0	0	0	0	1	Rare
GT28	DOLAYLI SEBEPLER	4.666x10 <sup>-15</sup>	0	0	0	0	1	Rare

Tablo 8.5 Örnek Hata Ağacı Analizi Sonuçları Devamı.

Hata Ağacı Kapı Sonuçları									
ID	Hata Ağacı Kapı Açıklamaları	Kullanılamazlık	Frekans (.../yıl)	Hassaslık Analizi	Güvenilmezlik	Kullanılamazlık Alt Sınır	Minimum Kesme Kümesi Sayısı	Kullanılan Metot	
GT29	ACİL MÜDAHALE EKSİKLİĞİ	$2.42 \times 10^{-7}$	$4.827 \times 10^{-8}$	$4.827 \times 10^{-8}$	$4.827 \times 10^{-8}$	0	5	Rare	
GT3	TEMİZLİK VE NÖTRLEŞTİRME YAPILMAMASI	$2.688 \times 10^{-5}$	$5.504 \times 10^{-6}$	$5.504 \times 10^{-6}$	$5.504 \times 10^{-6}$	0	2	Rare	
GT30	SIĞINAK EKSİKLİĞİ	$3.055 \times 10^{-1}$	$1.776 \times 10^{-2}$	$2.558 \times 10^{-2}$	$2.525 \times 10^{-2}$	0	5	Rare	
GT31	TEMİZ HAVA ÜSSÜ (FAB) UYGUN OLMAYAN TASARIM	$4.549 \times 10^{-2}$	$1.776 \times 10^{-2}$	$1.861 \times 10^{-2}$	$1.844 \times 10^{-2}$	0	4	Rare	
GT32	TASARIMSAL HATALAR	$4.056 \times 10^{-3}$	0	0	0	0	1	Rare	
GT33	BOZUK VE HASARLI EKİPMANLAR	$2.647 \times 10^{-1}$	$3.74 \times 10^{-2}$	$5.086 \times 10^{-2}$	$4.959 \times 10^{-2}$	0	2	Rare	
GT34	ACİL KURTARMA PLANI EKSİKLİKLER	$7.38 \times 10^{-4}$	0	0	0	0	1	Rare	

GT35	EĞİTİM EKSİKLİĞİ	$3 \times 10^{-5}$	0	0	0	0	0	0	1	Rare
GT36	İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ BİRİMİ EKSİKLİĞİ	$1.56 \times 10^{-1}$	0	0	0	0	0	0	1	Rare
GT37	HAVALANDIRMA TESİSATI HATASI	$4.496 \times 10^{-1}$	$4.318 \times 10^{-2}$	$7.844 \times 10^{-2}$	$7.544 \times 10^{-2}$	0	0	0	30	Rare
GT38	TASARIM HATALARI	$6.16 \times 10^{-2}$	0	0	0	0	0	0	2	Rare
GT39	TEKNİK HATALAR	$1.849 \times 10^{-18}$	$7.719 \times 10^{-16}$	$7.719 \times 10^{-16}$	$7.719 \times 10^{-16}$	0	0	0	7	Rare
GT4	UYGULAMA HATASI	$2.24 \times 10^{-1}$	$4.587 \times 10^{-2}$	$5.911 \times 10^{-2}$	$5.74 \times 10^{-2}$	0	0	0	2	Rare
GT40	EKİPMAN HATASI	$7.397 \times 10^{-4}$	$3.313 \times 10^{-1}$	$3.316 \times 10^{-1}$	$2.822 \times 10^{-1}$	0	0	0	2	Rare
GT41	HAVALANDIRMA OTOMASYON HATASI	$2.602 \times 10^{-1}$	$1.016 \times 10^{-1}$	$1.373 \times 10^{-1}$	$1.283 \times 10^{-1}$	0	0	0	4	Rare
GT42	HAVALANDIRMA FANI HATA	$4.392 \times 10^{-10}$	$2.568 \times 10^{-6}$	$2.568 \times 10^{-6}$	$2.568 \times 10^{-6}$	0	0	0	1	Rare
GT43	AZOT SİSTEMİ HATASI	$1.926 \times 10^{-1}$	$3.675 \times 10^{-1}$	$4.552 \times 10^{-1}$	$3.657 \times 10^{-1}$	0	0	0	3	Rare
GT44	SİSTEM HATASI	$8.4 \times 10^{-5}$	$6.018 \times 10^{-2}$	$6.018 \times 10^{-2}$	$5.841 \times 10^{-2}$	0	0	0	3	Rare

Tablo 8.6 Örnek Hata Ağacı Analizi Sonuçları Devamı

Hata Ağacı Kapı Sonuçları									
ID	Hata Ağacı Kapı Açıklamaları	Kullanılabilirlik	Frekans (.../ yıl)	Hassaslık Analizi	Güvenilmezlik	Kullanılabilirlik Alt Sınır	Minimum Kesme Kümesi Sayısı	Kullanılan Metot	
GT5	UZMAN GÖRÜŞÜNE UYULMAMASI	1.2x10 <sup>-3</sup>	0	0	0	0	1	Rare	
GT6	NÖTRLEŞTİRME HATASI	2.403x10 <sup>-2</sup>	4.587x10 <sup>-2</sup>	4.7x10 <sup>-2</sup>	4.591x10 <sup>-2</sup>	0	1	Rare	
GT7	HİBRİT KARIŞIM (KÖMÜR/METAN) PATLAMASI	3.9x10 <sup>-1</sup>	0	0	0	0	3	Rare	
GT8	HAVALANDIRMA BORU HATTI TASARIM HATASI	4.921x10 <sup>-1</sup>	4.143x10 <sup>-2</sup>	8.157x10 <sup>-2</sup>	7.834x10 <sup>-2</sup>	0	8	Rare	
GT9	ÖN DRENAJ YETERSİZLİĞİ	1.56x10 <sup>-2</sup>	0	0	0	0	1	Rare	
TO1	ZİRVE OLAY PIKE RİVER YERALTI KÖMÜR MADENİ PATLAMAMA VE YANGIN	7.072x10 <sup>-1</sup>	4.318x10 <sup>-2</sup>	1.475x10 <sup>-1</sup>	1.371x10 <sup>-1</sup>	0	41	Rare	

Şekil 6.4'te sunulan akış diyagramına göre, proses sistem ve ekipmanın kritik bir hataya sebep vermesi söz konusu olmadığından Olay Ağacı Analizi (ETA) veya başka diğer analiz yöntemlerine başvurmaya gerek duyulmamıştır.

## 8.6. Olay Ağacı Analizi Örneği

**Kaza -7:** Olayın meydana geldiği 17.03.2009 günü maden ocağında su atımı seviyeleri tehlike yaratabilecek seviyelerde artmıştır. Normalde kuyularda bulunan seviye siviçlerinden algılayarak otomasyon üzerinden dalgıç pompaların otomatik olarak su tahliyesini başlatması gerekmektedir. Özellikle yağışların fazla olduğu günler maden içerisindeki galerilerde su seviyelerinin artması sebebi ile dalgıç pompaların sürekli olarak çalıştırılarak suyun tahliye edilmesi gerekmektedir.

Maden ocağının yeraltı galerilerinin birinde bulunan suyun tahliyesi için kullanılan dalgıç pompanın ucundaki boru çamurla tıkanmıştır, pompa görevini yapmadığından, arızanın giderilmesi için, pisliklerin bir personel tarafından temizlenmesi gerekliliği doğmuştur. Normalde bu işlem bakım görevi ile ilgili personel tarafından alana temiz hava maskeleri ile girilerek yapılmaktadır.

Olay günü gece saat 22.45'te madende su seviyesinin seviyesini ölçen seviye sivicinden yüksek seviye alarmı gelmesi gerekirken siviç hatasından dolayı alarm gelmez. Ayrıca pompanın boru hattına çamur dolması sebebi ile pompa, suyu tahliye edememiştir. Bakım biriminden personeller ise madende değildir, bu tür durumlarda daha önce de farklı personeller tarafından pompalara müdahale yapılmıştır.

Madende su tahliye sistemi sık sık hata yapmaktadır, kuyulardaki seviye sivicinden alarm gelmemiştir. Ancak madenden çıkan personellerden biri su seviyesinde artış olduğu ile ilgili güvenlik birimine haber verir. Güvenlik amiri tarafından bakım birimine ulaşılarak pompaların kontrol edilmesi gerektiği haberi verilir. Ancak madende güvenlik amiri olarak görev yapan M.S.A. ve güvenlik personeli olarak görev yapan Y.S. ocak içindeki su kuyusundaki dalgıç pompasının kontrol edilmesi ve dalgıç pompayı çalıştırmak maksadı ile bakım personelinin gelmesini beklemek istemezler ve yaklaşık iki saat sonra kontrol için madene girmeye karar verirler. Ancak pompa sistemini kontrol etmek için madene girdiklerinde 190 metre kadar içeride galerilerden birinde su seviyesinin çok yükselmiş olduğunu görürler. Galeri içerisinde ilerlemeye

devam ettiklerinde içerdeki yoğun koku nedeni ile (solunum cihazı olmadan içeri girdikleri için) kendilerinden geçer gibi olduklarından geriye çıkışa doğru giderler ve maden kurtarma ekibine acil durumu haber verirler.

Madene gönderilen acil kurtarma ekibi su kuyularının birinde kükürtdioksit gazı biriktiğini ve zehirli bir atmosfer oluştuğunu tespit eder. Söz konusu kazada iki çalışan kükürtdioksit nedeni ile bilinçlerini kaybetmiş ve suyun yükselmesi sonucu boğularak vefat etmişlerdir.

### KÖK NEDEN ANALİZİ:

Söz konusu kaza Olay Ağacı Analizi tekniği ile analiz edilecektir.

**OLAY AĞACI ANALİZİ KÖK NEDEN ANALİZİ SEÇİLME NEDENİ:** Şekil 8.1'de verilen akış şemasına göre inceleme yapacak olursak; kazada birden fazla çalışan vefat etmiştir. Ancak olay karmaşık detaylara ve birçok karmaşık kök nedenlere sahip bir kazadır.

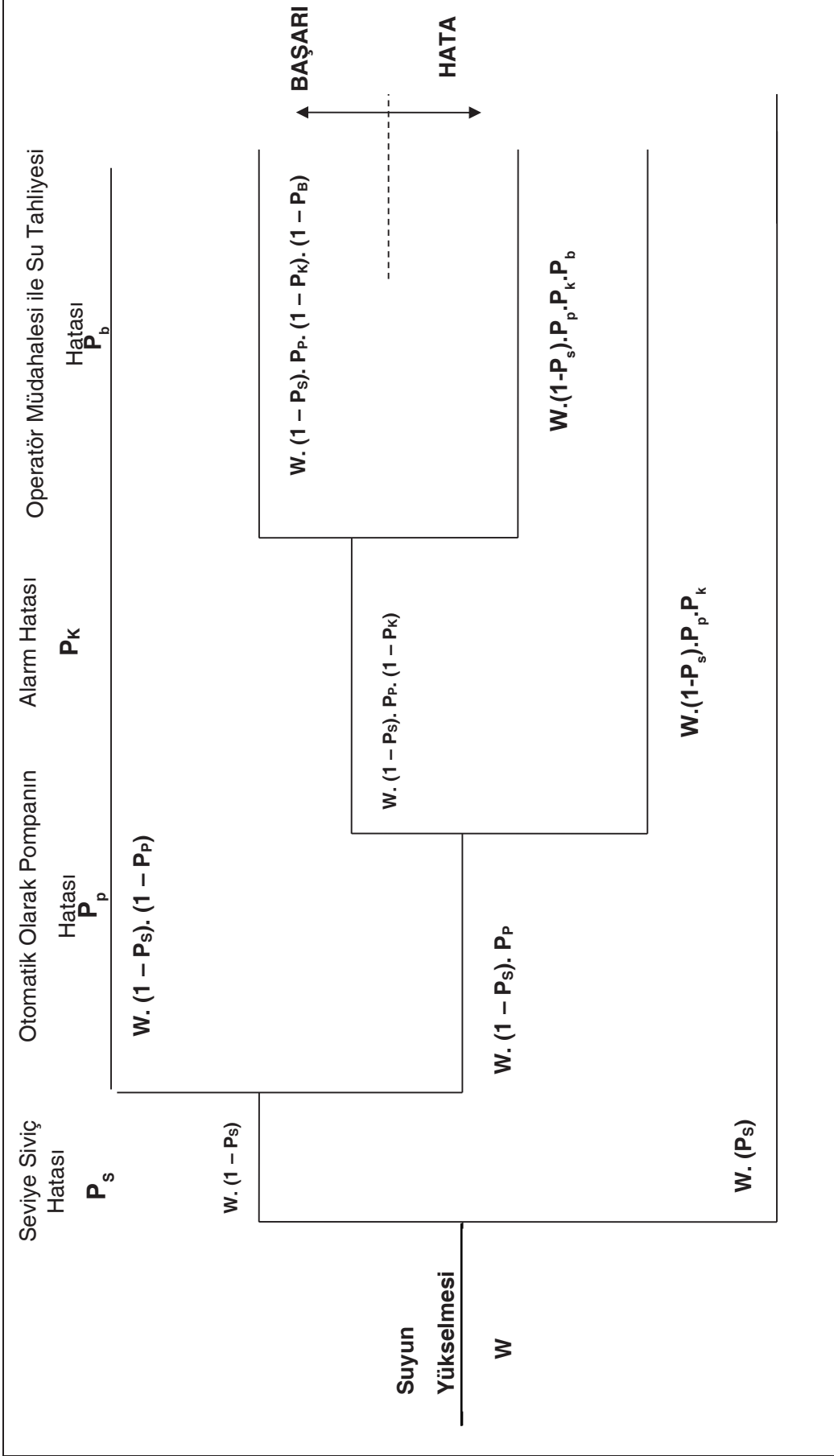
İnceleme yapmış olduğunuz kaza için tespit ettiğiniz kök nedenler 5 nedenden fazla ve proses, ekipman, prosedür, insan hatası içermektedir. Söz konusu hataların birbirini tetiklemesi ve domino taşları gibi devrilerle etkisiz kalması söz konusudur, bu nedenle Güvenlik Bariyer Analizi veya Papyon (Bow Tie) tekniği tercih edilebilir.

Olayın meydana gelme ihtimali de hesaplanmak istenir ise Hata Ağacı Analizi seçilebilir. Ancak bu olayda diğer kazalardan farklı olarak "Kritik Sistem" hatası söz konusudur. Normalde bu kazaya sebebiyet veren esas kök neden, suyu madenden tahliye etmek için kullanılan su tahliye sisteminin düzgün çalışmamasıdır. Su tahliye sistemi çalışmaması durumunda madende çalışanların hayati tehlike yaşamalarına sebebiyet vermesi nedeni ile kritik sistemdir.

Kritik bir sistem olan su tahliye sistemi için aşağıda Olay Ağacı Analizi ile inceleme yapılmış (Şekil 8.25 – Şekil 8.29) ve sistem masaya yatırılarak ve zafiyetleri ortaya çıkarılmaya çalışılmıştır.

Başlangıç Olay	Seviye Sivici Algılanması	Otomatik Su Pompasının Çalışması	Yüksek Seviye Alarmı (LAH) ile Operatörün Uyarılması (Operatörün Alarmı Duyarak Aksiyon Alması)	Operatör Müdahalesi ile Pompanın Çalıştırılması (Alana Temiz Hava Maskesi ile Girilerek Boru Hattı Temizlenir ve Pompa Çalıştırılır)	Sonuçlar
Suyun Yükselmesi	Başarılı	Başarılı	Başarılı	Başarılı	Su seviyesi yükselir, ancak herhangi bir olumsuz durum meydana gelmez.
		Başarısız	Başarısız	Başarılı Başarısız	Suyun tahliyesi için pompa manuel olarak çalıştırılır. Bir can kaybı olmadığı gibi kullanılan ekipmanlarda da bir zarar meydana gelmez.
Suyun Yükselmesi	Başarısız	Başarılı	Başarısız	Başarısız	Pompa manuel olarak çalıştırılmaz ve su tahliyesi yapılamaz. Madende can kaybına sebep olacağı gibi ekipmanlarda da yüksek seviyede bir zarar meydana gelir.
		Başarısız	Başarısız	Başarısız	Pompa manuel veya otomatik olarak çalıştırılmaz ve su tahliyesi yapılamaz. Madende can kaybına sebep olacağı gibi ekipmanlarda da yüksek seviyede bir zarar meydana gelir.
					Gerekli müdahale yapıma şansı olmadığından dolayı madende yüksek seviyede can ve mal kaybı meydana gelir.

Şekil 8.25 Olay Ağacı Analizi Örneği



Şekil 8.26 Olay Ağacı Analizi Örneği Kapı Hesabı

Başlangıç Olay	Seviye Sıvici Alınması	Otomatik Su Pompasının Çalışması	Yüksek Seviye Alarmı (LAH) İle Operatörün Uygulanması	Alarm Üzerine Operatör Müdahalesi İle Pompanın Çalıştırılması	Olay Sonucu	Frekans	Olasılık
w=0,0131535 per Yr	Q=0,44	Q=0,084	Q=0,03	Q=0,3		0,0131535 per Yr	1
Su Seviyesinin Yükselmesi	0,56: Başarılı	0,916: Başarılı	1	1	Su seviyesi yükselir, ancak zarar meydana gelmez	0,00674721	0,51296
	0,56: Başarılı	0,084: Başarısız	0,97: Başarılı	0,7: Başarılı	El ile manuel pompa çalıştırılır ve su boşaltılır, madende can kaybı olmaz	0,000420125	0,0319402
			0,03: Başarısız	0,3: Başarısız	El ile manuel pompa çalıştırılmaz ve su boşaltılmaz, madende can kaybı meydana gelir	0,000180053	0,0136886
	0,44: Başarısız	1	1	1	El ile manuel pompa çalıştırılır ve su boşaltılır, madende can kaybı oluşmaz	1,85622E-05	0,0014112
					Müdahale yapılma şansı hiç yok, madende yüksek oranda can ve mal kaybı meydana gelir	0,00578754	0,44

Şekil 8.27 Olay Ağacı Analizi Örneği Sonuçları

Başlangıç Olay	Seviye Sivici Algılanması	Otomatik Su Pompasının Çalışması	Yüksek Seviye Alarmı (LAH) İle Operatörün Uygulanması	Alarm Üzerine Operatör Müdahalesi İle Pompanın Çalıştırılması	Olay Sonucu	Frekans	Olasılık
w=0,0131535 per yr	Q=0,44	Q=0,084	Q=0,03	Q=0,3		0,0131535 per yr	1
Su Seviyesinin Yükselmesi	0,56: Başarılı	0,916: Başarılı	1	1	Su seviyesi yükselir, ancak zarar meydana gelmez	0,00674721	0,51296
		0,084: Başarısız	0,97: Başarılı	0,7: Başarılı	El ile manuel pompa çalıştırılır ve su boşaltılır, maddede can kaybı olmaz	0,000420125	0,0319402
			0,03: Başarısız	0,3: Başarısız	El ile manuel pompa çalıştırılmaz ve su boşaltılmaz, maddede can kaybı meydana gelir	0,000180053	0,0136886
	0,44: Başarısız	1	1	1	El ile manuel pompa çalıştırılır ve su boşaltılır, maddede can kaybı meydana gelir	1,85622E-05	0,0014112
					Müdahale yapılmaz şansı hiç yok, maddede yüksek oranda can ve mal kaybı meydana gelir	0,00578754	0,44
Hiç bir dallanma olmayan bu dal kabul edilemez. Seviye sivici bozulması durumunda alarm gelmediği için direkt kazaya sebep olmaktadır.							

Şekil 8.28 Olay Ağacı Analizi Örneği, Kabul Edilemeyen Kapı Sonucu

Başlangıç Olay	Seviye Sivici Algılanması	Islaklık sensörü Algılanması	Otomatik Su Pompasının Çalışması	Yüksek Seviye Alarmı (LAD) veya Islaklık Sensörü İle Operatörün Uyarılması	Alarm Üzerine Operatör-Müdahalesi İle Pompanın Çalıştırılması	Consequence	Frequency	Probability
w=0,0131535 per yr	Q=0,44	Q=0,07	Q=0,084	Q=0,03	Q=0,3		0,0176317 per yr	1,34045
	0,56:Başarılı	0,93:Başarılı	0,916:Başarılı	1	1	Su seviyesi yükselir, ancak zarar meydana gelmez.	0,00627491	0,477063
				0,97:Başarılı	0,7:Başarılı	El ile manuel pompa çalıştırılır ve su boşaltılır, maddenin can kaybı oluşmaz.	0,000390716	0,0287043
			0,084:Başarısız		0,3:Başarısız	El ile manuel pompa çalıştırılmaz ve su boşaltılmaz, maddenin can kaybı meydana gelir.	0,00016745	0,0127304
				0,03:Başarısız	1	El ile manuel pompa çalıştırılır ve su boşaltılır, maddenin can kaybı oluşmaz.	1,72629E-05	0,00131242
			0,916:Başarılı	1	1	Su seviyesi yükselir, ancak zarar meydana gelmez.	0,000472305	0,0359072
		0,07:Başarısız		0,97:Başarılı	0,7:Başarılı	El ile manuel pompa çalıştırılır ve su boşaltılır, maddenin can kaybı oluşmaz.	2,94087E-05	0,00223581
			0,084:Başarısız		0,3:Başarısız	El ile manuel pompa çalıştırılmaz, maddenin can kaybı meydana gelir.	1,26037E-05	0,000958205
				0,03:Başarısız	1	El ile manuel pompa çalıştırılır ve su boşaltılır, maddenin can kaybı oluşmaz.	1,29835E-06	9,8784E-05
			0,916:Başarılı	1	1	Su seviyesi yükselir, ancak zarar meydana gelmez.	0,00493029	0,374827
				0,03:Başarılı	0,3:Başarılı	El ile manuel pompa çalıştırılır ve su boşaltılır, maddenin can kaybı oluşmaz.	4,43726E-05	0,00337344
		0,03:Başarılı		0,03:Başarılı	0,7:Başarısız	El ile manuel pompa çalıştırılmaz ve su boşaltılmaz, maddenin can kaybı meydana gelir.	0,000103536	0,00787137
			0,916:Başarısız		1	Müdahale yapılamaz, maddenin yüksek oranda can ve mal kaybı meydana gelir.	0,00478238	0,363582
		0,07:Başarısız	1	1	1	Müdahale yapılma şansı hiç yok, maddenin yüksek oranda can ve mal kaybı meydana gelir.	0,000405127	0,0308
								1



Başka bir sensör ile yedekleme yapıldı

Su Seviyesinin Yükselmesi

Şekil 8.29 Olay Ağacı Analizi Örneği - Olması Gereken Sistemin Olay Ağacı

Söz konusu kazada maden atık suyunun tahliyesini sağlayan pompa sistemindeki siviç (seviye anahtarı) hata yapmış ve alarm üretememiş, dolayısıyla bu gelişmeden maden personelini uyarma görevini yerine getirememiştir. Ayrıca pompanın emiş boru hattı da çamur ile tıkanmış olması sebebi ile pompa da otomatik olarak devreye girerek toplanan suyu tahliye edememiştir.

Kazanın meydana geldiği otomasyon sistemi için hazırlanmış olan ilk Olay Ağacı Analizindeki kapılar ve frekans değerleri Tablo 8.7'de verilmiştir.

**Tablo 8.7** Kazaya Ait Olay Ağacı Analizi Sonuçları

ID	Büyük Kaza Senaryo Sonuçları	Ortalama Frekans Değeri (.../yıl)
SONUÇ1	Su seviyesi yükselir, ancak zarar meydana gelmez	0.0117
SONUÇ2	El ile manüel pompa çalıştırılır ve su boşaltılır, madende can kaybı oluşmaz	0.0005
SONUÇ3	El ile manüel pompa çalıştırılmaz ve su boşaltılamaz, madende can kaybı meydana gelir	0.0003
SONUÇ4	Müdahale yapılamaz, madende yüksek oranda can ve mal kaybı meydana gelir	0.0048
SONUÇ5	Müdahale yapıma şansı hiç yok, madende yüksek oranda can ve mal kaybı meydana gelir	0.0058

Kazanın meydana geldiği otomasyon sistemi için yapılan Olay Ağacı Analizi seviye sivicinin yedeklenmesi gerektiğini göstermiştir. Şayet kaza öncesinde Olay Ağacı Analizi yapılmış olsa idi Olay Ağacı Analizinde tek dal görülecek ve bu sistemin kabul edilemez bir sistem olduğu da görülmüş olacaktı.

İkinci olarak yapılmış olan Olay Ağacı Analizinde ise; ıslaklık sensörü ile seviye sivicisi yedeklenmiş ve sistemin tek dal hatası yapması önlenmiştir. İkinci yapılan Olay Ağacı Analizi için sonuçlar ve frekans değerleri Tablo 8.8'de verilmiştir.

**Tablo 8.8** Önlem Eklenen Olay Ağacı Analizi Sonuçları

ID	Büyük Kaza Senaryo Sonuçları	Ortalama Frekans Değeri (.../yıl)
SONUÇ1	Su seviyesi yükselir, ancak zarar meydana gelmez	0.0117
SONUÇ2	El ile manuel pompa çalıştırılır ve su boşaltılır, madende can kaybı oluşmaz	0.0005
SONUÇ3	El ile manuel pompa çalıştırılmaz ve su boşaltılamaz, madende can kaybı meydana gelir	0.0003
SONUÇ4	Müdahale yapılamaz, madende yüksek oranda can ve mal kaybı meydana gelir	0.0048
SONUÇ5	Müdahale yapıma şansı hiç yok, madende yüksek oranda can ve mal kaybı meydana gelir	0.0004



## 9. SONUÇLAR ve ÖNERİLER

Kök neden analizi kısaca, bir sorunun kaynağını belirleme ve sorunun kök düzeyindeki sebeplerine yönelik çözüm arama süreci olarak tanımlanabilmektedir. Bu tür analizler bir sorunun temel nedenlerini belirleyerek bu sorunları aşmak için daha etkili stratejiler geliştirmeye yardımcı olmaktadır.

Kök neden analizi yapılması ve uygun çözümlerin uygulanması, maden işletmelerinde aynı veya benzer sorunların ve olayların tekrarlanmamasına veya tamamen önlenmesine önemli ölçüde yardımcı olur. Bu çalışmaların yürütülmesi ile maden işletmelerinde meydana gelebilecek kazalar sonucunda çalışanların ölüm ve yaralanması, toplumun zarar görmesi ve çevresel etkileri gibi risklerin azaltılması veya çevresel hasarın önlenmesi hedeflenmektedir.

Kök neden analizi için, tüm işletmelere uyan tek bir metodoloji mevcut değildir. Aslında, bu tür analizleri yürütmek için kullanılan çok çeşitli araçlar, süreçler ve teknikler bulunmaktadır, bu rehberde bu tekniklerin bir kısmı örneklerle açıklanmıştır.

Rehberde anlatılan kök neden analizi sürecini kısaca şu şekilde tarif edilebilir:

- Sorunun farkına varılması,
- Veri toplanması,
- Olası nedensel faktörlerin belirlenmesi,
- Kök nedenlerin tanımlanması,
- Çözümlere öneri oluşturulması ve önerilerin uygulamaya geçirilmesi

Kök neden analizi teknikleri kazaların temel nedenlerini bulmak için tek bir kişi tarafından kullanılabileceği gibi, ekiplerin birlikte çalışmalarını teşvik ederek bir kuruluşta işbirliği ve ekip çalışmasını geliştiren risk değerlendirmesi teknikleri arasında yer almaktadır. Bu nedenle, kuruluşun güvenlik kültürünün geliştirilmesi ve departmanlar arasında yüksek iş sağlığı ve güvenliği standartlarının oluşturulmasını teşvik etme açısından kök neden analizleri ön plana geçmektedir.

Bu rehber ile işyerinde meydana gelen bir kaza ya da sorun sonrasında oluşan ihtiyaç ve hedeflere göre bir kök neden analizi tekniği seçimi yapılabilmesi ve uygulama aşamasına geçilmesi hedeflenmiştir. Hangi metodolojinin kullanılacağı belirlendikten sonra, bu rehber ile kök neden analizi sürecinin uygulama aşamalarını izleyip uygulama adımları takip edilerek söz konusu kazaların veya sorunların çözümü gerçekleştirilebilecektir.



Maden işletmelerinde kök neden analizleri uygulanarak kazaların altında yatan esas kök nedenlere ulaşılması ve bu problemler için önlemlerin geliştirilerek uygulanması son derece önemlidir.

Ancak unutulmamalıdır ki; Papyon analizi, Hata Ağacı Analizi, Olay Ağacı Analizi, Güvenlik Bariyer Analizi gibi teknikler tecrübenin yanında ilgili yöntemle ilgili teknik, bilimsel bilgi ve detaya ihtiyaç duyan yöntemlerdir. Bu çerçevede kök neden analizi yapacak uzmanların ve İş Sağlığı ve Güvenliği uzmanlarının bu yöntemlerin detayları ile ilgili eğitim alması ve bu çerçevede yöntemleri kullanmaya başlamaları önerilir.

Kaza analiz aşamasında tüm çalışanları analiz döngüsü içinde tutmak için ekip toplantıları yapılmalıdır. Bu şekilde esas kök nedenlerin kaçırılmasının önüne geçilecektir. Ayrıca tüm problemlerin ele alındığından emin olunarak analiz sürecinin kolaylaştırılması için de bu rehberde verilen kök neden analizinin nasıl yapıldığı ile ilgili bölümdeki adımların takip edilmesi önerilmektedir.

Kök neden analizi teknikleri araştırıldığında sadece bu kılavuzda yer verilmiş analizler haricinde birçok farklı yöntemin var olduğu ve geliştirildiği görülecektir. Bu kılavuzda en fazla bilinen ve uygulanan teknikler seçilerek anlatılmıştır. Bu tekniklerden bir kısmı basit yapıda ve kolaylıkla anlaşılabilir karmaşıklıkta analizlerdir. Bir kısım teknikler ise daha karmaşık anlaşılması ve algılanması zor ancak sonuç alma bakımından basit tekniklere göre çok daha kuvvetli olan tekniklerdir.

Unutulmaması gereken en önemli husus ise, tedavi etmek ile durumu iyileştirmek arasındaki farkı anlamaktır. Örneğin kırık bir bilek gerçekten acı verir. Bileğiniz kırılmış ise ağrı kesiciler sadece belirtileri ortadan kaldırır; kemiklerinizin düzgün bir şekilde iyileşmesine yardımcı olmak için ise farklı bir tedaviye ihtiyacınız olacaktır.

Bir sorun oluştuğunda veya bir kaza meydana geldiğinde hemen müdahale edip belirtileri tedavi etmek ve sonrasında da günlük çalışmalara devam etmek doğru bir yöntem midir? Yoksa asıl gerekli olan gerçekten ilgilenmesi gereken daha derin sorunlar olup olmadığını düşünmek için çalışma yapmak mıdır? Yalnızca belirtileri yani yüzeyde gördüğünüz sorunları düzeltirseniz, sorun neredeyse kesinlikle geri dönecek ve tekrar tekrar düzeltilmesi gerekecektir, hatta en son yaşanan kazadan çok daha büyük bir kaza meydana gelebilecektir. Bu nedenle maden işletmelerinde kök neden analizleri uygulanarak kazaların altında yatan esas kök nedenlere ulaşılması ve bu problemler için önlemlerin geliştirilerek uygulanması son derece önemli ve elzemdir. Bu kapsamda hazırlanmış olan bu rehberin kaza analizleri yapacak uzmanlara yardımcı bir rehber niteliğinde olması hedeflenmiştir.

## KAYNAKLAR

16. Uluslararası Çalışma İstatistikçileri Konferansında (ICLS), 1998, Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO), AB İstatistik Ofisi (Eurostat), Cenevre.

Australian Standart- İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Yönetimi El Kitabı, 2002.

Avrupa Endüstri Güvenilirliği Veri Bankası (The): EIReDA, FINCAN, 1998

Edwards, Zuijderduijn, 1999, Güvenlik Bariyeri Datası, The Netherlands.

Fragola Literatür Veri Tabanı, 2017, Avrupa Birliği Komisyonu Programı.

IAEA Hata Datası, 2019, IAEA-NA Nükleer Bilimler ve Uygulamalar Bölümü.

IChemE Kaza Veri Tabanı, 1997, The IChemE Safety Centre.

OREDA Offshore & Onshore (Deniz ve Kara Operasyonları ) Güvenilirlik Verileri El Kitabı, 2015, Hollanda.

Özdilek İslamoğlu, Ö., 2005. İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri ve Risk Değerlendirme Metodolojileri, TISK- Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu, Ankara.

Özdilek İslamoğlu, Ö., 2007, İş Sağlığı Güvenliği ve Çevresel Etki Risk Değerlendirmesi, MESS – Metal İşverenleri Sendikası, İstanbul.

Özdilek İslamoğlu, Ö., 2014, Risk Değerlendirmesi ATEX Direktifleri - Patlayıcı Ortamlar Büyük Endüstriyel Kazaların Önlenmesi ve Etkilerinin Azaltılması - Kantitatif Risk Değerlendirme Seveso II ve Seveso III Direktifi (COMAH Direktifi), Yayınlanma Tarihi: Mart 2014, Yayın Yeri: Türkiye İşverenler Sendikaları Konfederasyonu (TİSK)

Özdilek İslamoğlu, Ö., 2013. İşyeri Hekimleri ve OSGB'ler için İSG Klavuzu, Haziran 2013, Forum Medya.

Özdilek İslamoğlu, Ö., 2010. İş Hayatına İlişkin Tüm Sözleşme Örnekleri, Ekim 2010, Forum Medya.

Özdilek İslamoğlu, Ö., 2013. İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitim Seti, Ağustos 2013, Forum Medya.

Özdilek İslamoğlu, Ö., 2008. Etkin İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulama Rehberi, Şubat 2008, Forum Medya.

Pike River Kömür Madeni Trajedisi Kraliyet Komisyonu Raporu, 2021, Yeni Zelanda.

Reliability Workbench Yazılımı Kullanım Kılavuzu, 2001, ISOGRAPH, Kanada.

Taylor, S. 1994, Güvenlik Bariyerleri Diyagramları, The Netherlands.

## FAYDALI REFERANSLAR

Allan, McMillan, 1998, Industrial Health and Safety, Butterworth-Heinemann, 4th Edition.

Compilation of comments on 56/735/CD: IEC 60812: Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)

Compilation of comments on 56/797/CD: IEC 60812, Ed.2: Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)

Compilation of comments on 56/882/CD: IEC 61025, Ed.2: Fault tree analysis (FTA)

“Fault Tree Handbook with Aerospace Applications”, 2002, Version 1.1, NASA Publication.

IEC 60812, Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)

IEC 61025 Ed. 2.0: Fault tree analysis (FTA)

IEC 61882 Ed.1.0: Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide

IEC 61882, Ed.1.0: Hazard and operability (HAZOP) studies - Guide word approach

IEC 61882: Guide for Hazard and Operability Studies (HAZOP studies)

IEC 61882, Ed. 1: Hazard and operability studies (Hazop studies) - Application guide

IEC 62502 Ed. 1.0: Analysis techniques for dependability - Event tree analysis

International Labor Office, 1991, Major Hazard Control – A Practice Manuel, Geneva.

Maintenance of IEC 61882, 2001, Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide.

Maintenance cycle report IEC 60812, Ed.2: Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)

Maintenance cycle report on IEC 61025 Ed.1: Fault tree analysis (FTA)

Maintenance cycle report on IEC 61882 Ed.1: Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide

Maintenance cycle report on IEC 61882 Ed. 1.0: Hazard and operability studies (HAZOP studies) - Application guide

MIL-STD-882-D 2000, Standard Practice For System Safety.

Molak, V. 2005, Fundamentals of Risk Analysis and Risk Management, Gaia Unlimited Inc., Cincinnati, Ohio, 9 th Edition.

Parker C.P., 1998, Risk Analysis and Management, McGraw-Hill Book Company, 6th Edition.

Probabilistic Risk Assessment Procedures Guide for NASA Managers and Practitioners, 2002, New Version 1.1 of November 12, 2002.

Result of Voting on 56/921/CDV: IEC 60812: Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)

Report of Voting on 56/1072/FDIS: IEC 60812 Ed. 2.0: Analysis techniques for system reliability - Procedure for failure mode and effects analysis (FMEA)

Report of Voting on 56/1142/FDIS: IEC 61025 Ed. 2.0: Fault tree analysis (FTA)

Williams C.A. Jr., Smith M.L., Young P.C., 1995, Risk Management and Insurance, McGraw-Hill Book Company, 7th Edition.









Bu proje Avrupa Birliği ve Türkiye Cumhuriyeti tarafından finanse edilmektedir.

# MİSGEP

MADENCİLİKTE  
İŞ SAĞLIğI ve  
GÜVENLİĞİNİN  
GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ

## İSG ALANINDA TEKNİK REHBERLER

2023

[www.isginfo.org](http://www.isginfo.org)

İSG.info

