İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YERALTI MADENCİLİK SEKTÖRÜ MESLEKİ GÜVENLİK RİSK ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

Fatma YAŞLI

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

ŞUBAT 2020

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

YERALTI MADENCİLİK SEKTÖRÜ MESLEKİ GÜVENLİK RİSK ANALİZİ

DOKTORA TEZİ

Fatma YAŞLI
(507112006)

İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı

İşletme Mühendisliği Programı

Tez Danışmanı: Doç. Dr. Hür Bersam BOLAT

ŞUBAT 2020

İTÜ, Fen Bilimleri Enstitüsü'nün 507112006 numaralı Doktora Öğrencisi Fatma YAŞLI, ilgili yönetmeliklerin belirlediği gerekli tüm şartları yerine getirdikten sonra hazırladığı "YERALTI MADENCİLİK SEKTÖRÜ MESLEKİ GÜVENLİK RİSK ANALİZİ" başlıklı tezini aşağıda imzaları olan jüri önünde başarı ile sunmuştur.

Tez Danışmanı :	**Doç. Dr. Hür Bersam BOLAT** İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
Jüri Üyeleri :	**Prof. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY** İstanbul Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Dilay ÇELEBİ GONIDIS İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Umut ASAN İstanbul Teknik Üniversitesi	.....
	Doç. Dr. Sabri Tankut ATAN Bahçeşehir Üniversitesi	.....

Teslim Tarihi : 27 Aralık 2019
Savunma Tarihi : 17 Şubat 2020

Yeraltında yitirilmiş hayatlara,

ÖNSÖZ

Yoğun emekler sonucu ortaya çıkan bu tez çalışmasındaki tüm akademik ve manevi destekleri için ilk önce Sayın danışmanım Doç. Dr. Hür Bersam BOLAT'a büyük bir manevi borç içerisinde olduğumu belirtmek isterim. Kendisine ne kadar teşekkür etsem de yeterli olmayacaktır. Sayın hocalarım Doç. Dr. Dilay ÇELEBİ ile Prof. Dr. Mehmet Mutlu YENİSEY'e tez izleme toplantılarında sundukları katkılardan dolayı sonsuz saygılarımı ve minnetlerimi sunarım. Eskişehir'den yaptığım tüm günübirlik seferlerimi paha biçilmez kılan ve sahip olduğum tüm akademik bilgi ve birikimimi borçlu olduğum derslerini aldığım İstanbul Teknik Üniversitesi öğretim üyesi hocalarıma, lisans öğrenimimden bu yana tüm akademik dönüm noktalarımda desteğini esirgemeyen İstanbul Üniversitesi öğretim üyesi Sayın Prof. Dr. Şakir ESNAF'a, çalışmamla ilgili hem fikirsel hem de kaynak bulma konusundaki destekleri için Eskişehir Teknik Üniversitesi Dr. Öğr. Üy. Mehmet FİDAN'a ve Soma faciasına duyduğum hüznün, çalışma motivasyonuna dönüşmesini sağlayıp, çalışmam için her türlü kolaylığı sağlamış olan Dedeman Madencilik İşletmesi yetkililerine sonsuz teşekkürlerimi sunarım. Tez yazım süresince hayatımı kolaylaştırmak için büyük emekler veren ANNEM ve BABAM'ın varlığına şükreder, tezimin tüm tehlikeli sektör çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği ile ilişkili maruz kaldıkları risk unsurlarının ortaya çıkartılmasında uygulanabilir olması ve tehlikeli sektörlerde insan gücünün tercih edilmesini önleyici uygun politikaların geliştirilmesinde kullanılabilir olmasını dilerim.

Aralık 2019 Fatma YAŞLI

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ… vii
İÇİNDEKİLER ix
KISALTMALAR xv
SEMBOLLER xvii
ÇİZELGE LİSTESİ xix
ŞEKİL LİSTESİ xxiii
ÖZET… xxv
SUMMARY xxvii
1. GİRİŞ… 1
1.1 Tezin Amacı 3
1.1.1 Nitel amaçlar 4
1.1.2 Nicel amaçlar 5
1.2 Kapsam 6
1.3 Çalışmanın Özgünlüğü 6
2. RİSK ANALİZİ 9
2.1 Risk Analizinde Nedensellik ve Belirsizlik 13
2.2 Risk Analizinde Olasılık Kavramları ve Bayes Teoremi 14
2.3 Uzman Yargıları ile Risk Analizi 20
2.3.1 Uzman yargıları 21
2.3.1.1 Uzman yargılarında bilimsel prensipler 21
2.3.1.2 Uzman yargılarında sezgisel hata 23
2.3.1.3 Uzman yargıları ile olasılık çıkarımları 26
2.3.2 Uzman yargıları ile olasılık çıkarımlama araçları 30
2.3.2.1 Olasılık çarkı 31
2.3.2.2 Olasılık ölçeği 35
2.3.2.3 Kumar ve şans oyunu 37
2.3.2.4 Rulet yöntemi 41
2.3.2.5 Doğrudan sorgulama 41
2.3.2.6 Delphi 43
3. BAYES AĞLARI 45
3.1 Bayes Ağlarında Yapısal İlişkiler 51
3.1.1 Bayes ağlarındaki temel ilişki modelleri 52
3.1.2 Bayes ağlarında bağımsızlık ilişkileri 53
3.2 Bayes Ağı Yapılandırması 62
3.2.1 Üst olay belirleme 64
3.2.2 Ara olayların belirlenmesi 65
3.2.3 Kök nedenlerin belirlenmesi 66
3.3 Bayes Ağı Parametreleri 67
3.3.1 Öncül (marjinal) olasılıklar 68
3.3.2 Şartlı olasılık tabloları 70

3.4 Bayes Ağları Hesaplamaları 75
3.4.1 İleriye doğru sorgulama 76
3.4.2 Geriye doğru sorgulama 78
3.5 Bayes Ağlarında Müdahale (Interventional Analysis) ve Risk Kontrol Seçenekleri 79
4. MESLEKİ GÜVENLİK RİSK ANALİZİ METODOLOJİSİ 83
4.1 Analiz Hazırlık Aşaması 86
4.2 Ağın Oluşturulması 90
4.2.1 Kazaların meydana geldiği sistem alt süreçlerinin belirlenmesi 91
4.2.2 Süreçler içindeki gerçekleşmesi muhtemel kazaların tanımlanması 91
4.2.3 Kazaların nedensel sorgulanması ve olay hata ağaçları 92
4.2.4 Hata ağaçlarının Bayes ağına dönüştürülmesi ve temel ağ yapısı 94
4.2.5 Ağın doğrulanması 98
4.2.6 Ağa risk kontrol seçeneklerinin dahil edilmesi 99
4.3 Ağ Parametrelerinin Belirlenmesi 100
4.3.1 Uzmanların olasılık çıkarımları konusunda bilgilendirilmesi 101
4.3.2 Olasılık çıkarımları için uygun metodun seçilmesi-oluşturulması 104
4.3.3 Şartlı olasılık tablolarının oluşturulması 109
4.3.4 Şartlı olasılık değerlerinin tutarlılık kontrolleri 112
4.3.4.1 Benzer şartlı olasılık değerleri alan durum kombinasyonlarının ikili karşılaştırmalarla tutarlılık kontrollerinin yapılması 112
4.3.4.2 Her olaya dair oluşturulan şartlı olasılık tablolarının bütünsel olarak (sıralamalı) kontrol edilmeleri 113
4.3.4.3 Tüm şartlı olasılık tablolarının en iyi ve en kötü koşullar altındaki hücre değerlerinin tutarlılık kontrollerinin yapılması 114
4.3.5 Kaza şiddetlerinin kaza değişkenlerine yansıtılması 115
4.3.6 Kazaların faaliyetlere göre değişen risk-etki seviyelerinin belirlenmesi ve faaliyet risk değerlendirmesi formülasyonu 116
4.3.7 Risk kontrol seçenekleri ile ilişkili parametreler 118
4.3.8 Kök nedenlerin öncül (marjinal) olasılıklarının belirlenmesi 118
4.4 Ağ Hesaplamaları 119
5. YERALTI MADENCİLİĞİ MESLEKİ GÜVENLİK RİSK ANALİZİ 121
5.1 Analiz İçin Hazırlık Aşaması 123
5.1.1 Analiz konusu ve kapsamının tanımlanması 125
5.1.2 Analiz için uygun uzmanların belirlenmesi 128
5.1.3 Uzmanların yeraltı madeni güvenliğine ilişkin risk analizi için motivasyonunun sağlanması 129
5.2 Mesleki Güvenlik Risk Analizi İçin Ağın Oluşturulması 131
5.2.1 Çalışan güvenliği ile ilişkili istenmeyen olayların meydana geldiği alt süreçlerin belirlenmesi 132
5.2.2 Yeraltı madeni süreçleri içinde, çalışan güvenliği ile ilişkili istenmeyen olayların tanımlanması 137
5.2.3 İstenmeyen olayların nedensel sorgulanması ve olay hata ağaçları 143
5.2.3.1 ‘Akciğer-toz hastalıkları (pnömokonyoz)’ nedensel sorgulama 144
5.2.3.2 ‘Ekipman yaralanması’ nedensel sorgulama 146
5.2.3.3 ‘Kavlak düşmesi’ nedensel sorgulama 148
5.2.3.4 ‘Fiziksel zorlanma’ nedensel sorgulama 151
5.2.3.5 ‘Patlamadan etkilenme’ nedensel sorgulama 152
5.2.3.6 ‘Gaz sızıntısı-su baskını’ nedensel sorgulama 155
5.2.3.7 ‘Düşme’ nedensel sorgulama 157

5.2.3.8 ‘Göçük’ nedensel sorgulama 158
5.2.3.9 Yeraltı kepçesi devrilmesi’ nedensel sorgulama 159
5.2.3.10 ‘Aracın çalışana çarpması’ nedensel sorgulama 161
5.2.3.11 ‘Çalışanın üzerine malzeme düşmesi’ nedensel sorgulama 162
5.2.3.12 ‘Vagon sebepli sıkışma’ nedensel sorgulama 164
5.2.3.13 ‘Kafes boşluğuna düşme’ nedensel sorgulama 165
5.2.3.14 ‘Kafes düşmesi’ nedensel sorgulaması 166
5.2.3.15 ‘Kafesin tavana çarpması’ nedensel sorgulama 169
5.2.4 Ele alınan olaylar ile ilgili varsayımlar 171
5.2.5 Bayes ağ yapısının oluşturulması 173
5.2.6 İstenmeyen olayların yaşanmasındaki kök nedenler 176
5.2.6.1 Jeolojik yapı 176
5.2.6.2 İSG eğitimi 178
5.2.6.3 Çalışma zemini 179
5.2.6.4 İSG denetim 179
5.2.6.5 Çalışan dikkati 180
5.2.6.6 İSG planlama 182
5.2.7 Ağın doğrulanması 182
5.2.8 Ağa risk kontrol seçeneklerinin dahil edilmesi 183
5.2.8.1 Maden ekipmanları teknoloji sınıflandırması 185
5.2.8.2 Teknolojik ekipman kullanımları ile risk kontrol değerlendirmesi .. 195
5.3 Ağ Parametrelerinin Belirlenmesi 207
5.3.1 Uzmanların olasılık çıkarımları konusunda bilgilendirilmesi 209
5.3.2 Olasılık çıkarımları için mevcut yöntemlerin sorgulanması 211
5.3.3 Analist tarafından ilişkili karşılaştırmalarla tutarlılığı kontrol edilen, grupsal doğrudan olasılık çıkarım yöntemi 213
5.3.4 Şartlı olasılık tablolarının oluşturulması 215
5.3.4.1 Akciğer rahatsızlığı 215
5.3.4.2 Toz bastırıcı sistem kullanımı 218
5.3.4.3 Kişisel koruyucu donanım (KKD) kullanımı 220
5.3.4.4 Patlamadan etkilenme 222
5.3.4.5 Kontrol dışı patlama 224
5.3.4.6 Ateşleme kurallarına uyum 227
5.3.4.7 Ateşleme sonrası kontrol 229
5.3.4.8 Patlama bölgesinde bulunma 231
5.3.4.9 Patlatma uyarısı 233
5.3.4.10 Ekipman yaralanması 235
5.3.4.11 Gaz sızıntısı-su baskını 242
5.3.4.12 Gaz - su birikmesi 244
5.3.4.13 Saha kontrolü 245
5.3.4.14 Kavlak düşmesi 247
5.3.4.15 Kavlak düşürme 253
5.3.4.16 Kavlak kontrol 255
5.3.4.17 Tahkimat etkinliği 257
5.3.4.18 Tahkimat kontrolü 259
5.3.4.19 Fiziksel zorlanma 261
5.3.4.20 Düşme 266
5.3.4.21 Göçük 267
5.3.4.22 Yeraltı kepçesi devrilmesi 269
5.3.4.23 Aracın çalışana çarpması 273

5.3.4.24 Operatör kaynaklı aracın çalışana çarpması 274
5.3.4.25 Araç arızası 275
5.3.4.26 Çalışanın üzerine malzeme düşmesi 276
5.3.4.27 Ray kalitesi 281
5.3.4.28 Kafes boşluğuna düşme 283
5.3.4.29 Karakol kapısı 285
5.3.4.30 Kafes düşmesi 287
5.3.4.31 Halat kaynaklı düşüş 288
5.3.4.32 Halat kopması 288
5.3.4.33 Paraşüt sistemi 289
5.3.4.34 Bakım 290
5.3.4.35 Mekanik arıza kaynaklı düşüş 292
5.3.4.36 Mekanik arıza 293
5.3.4.37 Otomatik fren sistemi 293
5.3.4.38 Operatör kaynaklı düşüş 294
5.3.4.39 Operatör kumanda hatası 294
5.3.4.40 Kafesin tavana çarpması 296
5.3.4.41 Motor kaynaklı çarpma 297
5.3.4.42 Tavan durdurma mekanizması 298
5.3.4.43 Operatör kaynaklı çarpma 298
5.3.5 Ağ parametrelerinin tutarlılık kontrolleri 299
5.3.6 İstenmeyen olay şiddetlerinin durumsal parametre olarak ilgili değişkenlere yansıtılması 305
5.3.7 Olayların, çalışanları faaliyetlere göre etki altında bırakma ağırlıkları 308
5.3.8 Risk kontrol unsurları ile ilişkili parametreler 310
5.3.8.1 Risk kontrol I: ana faaliyet ekipmanı – uzaktan kontrol edilebilen delme makinesinin kullanımı 312
5.3.8.2 Risk kontrol II: ara olay değişkeni – patlatma uyarı sistemi kullanımı 313
5.3.8.3 Risk kontrol III: ara olay değişkeni – kontrol sondajı yapılması 314
5.3.8.4 Risk kontrol IV: ara olay değişkeni – kavlak düşürme makinesinin kullanımı 316
5.3.8.5 Risk kontrol V: ana faaliyet ekipmanı – aynada uzaktan kumandalı kepçe kullanımı 318
5.3.8.6 Risk kontrol VI: ana faaliyet ekipmanı – nakliyat için lokomotif kullanımı 319
5.3.8.7 Risk kontrol VII: ara olay değişkeni–otomatik karakol kapısı kullanımı 319
5.3.8.8 Risk kontrol VIII: ana faaliyet ekipmanı – otomatik oluk yükleyici kullanımı 321
5.3.8.9 Risk kontrol IX: ana faaliyet ekipmanı – otomatik kafes yükleyici 322
5.3.8.10 Risk kontrol X: ana faaliyet ekipmanı - otomatik kafes nakliyatı 322
5.3.9 Kök nedenlerin öncül (marjinal) olasılıklarının belirlenmesi 326
5.4 Bayes Ağı Analizi 327
5.4.1 Üst olay olasılıklarının belirlenmesi 328
5.4.1.1 Mevcut durum analizi 328
5.4.1.2 Kök nedenlerin duyarlılık analizleri 330
5.4.1.3 Kök nedenlerle ilişkili senaryo analizleri 335
5.4.2 Olayların şiddet çıktıları ile birlikte değerlendirilmesi 341

5.4.3 Kök nedenlerin ve ara olayların soncul olasılıklarının hesaplanması-geriye doğru sorgulama 343
5.4.4 Yeraltı maden faaliyetlerinin risk değerlendirmesi 345
5.4.5 Risk kontrol seçeneklerinin ağa etkilerinin belirlenmesi 346
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 353
KAYNAKLAR 361
ÖZGEÇMİŞ 371

KISALTMALAR

İSG **:** İş Sağlığı ve Güvenliği

KKD **:** Kişisel Koruyucu Donanım

LHD **:** Yeraltı Kepçesi (Load-haul-dump)

SEMBOLLER

$\mathbf{i}$	**:** Kaza
$\mathbf{j}$	**:** Faaliyet
$\mathbf{p_i}$	**:** Kaza Olasılığı
$\mathbf{r_i^j}$	**:** Kazanın Faaliyet Kapsamındaki Risk-etki Ağırlığı
$\mathbf{r^j}$	**:** Faaliyet Risk Değeri
$\mathbf{wt^j}$	**:** Faaliyet Zaman Ağırlığı
$\boldsymbol{\lambda_i^j}$	**:** Risk-etki Alanı İçinde Bulunma Seviyesi
$\mathbf{wr^j}$	**:** Faaliyet Risk Ağırlığı

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 3.1 : Bayes ağları içindeki ilişkilere göre bileşik olasılık ifadeleri. **58**
Çizelge 3.2 : Zhang ve diğ. (2018) çalışması kök nedenleri ve öncül olasılıkları..... **69**
Çizelge 3.3 : Bileşik olasılık tablosundan şartlı ve öncül olasılık çıkarımı..... **72**
Çizelge 3.4 : İki ebeveynli A değişkenin şartlı olasılık tablosu. **72**
Çizelge 3.5 : Gürültülü-Veya için örnek kısmi şartlı olasılık tablosu. **74**
Çizelge 3.6 : Noisy-OR için örnek tamamlanmış şartlı olasılık tablosu..... **75**
Çizelge 4.1 : Analist-uzman işbirliği ile oluşturulan şartlı olasılık tablosu taslağı . **111**
Çizelge 4.2 : Şartlı olasılıklar için örnek tutarlılık sorgulama tablosu **114**
Çizelge 5.1 : Firma kaza listesi (iş görememe gün sayısı). **126**
Çizelge 5.2 : Çalışma kapsamında belirlenen yeraltı madeni istenmeyen olayları. **142**
Çizelge 5.3 : Bayes ağı değişkenleri..... **177**
Çizelge 5.4 : Bayes ağına eklenecek risk kontrol unsurları..... **199**
Çizelge 5.5 : Ağa ana faaliyet ekipmanı olarak eklenen risk kontrol unsurları ve ağ içindeki ilişkileri. **206**
Çizelge 5.6 : Ağa ara olay ekipmanı olarak eklenen risk kontrol unsurları ve ağ içindeki ilişkileri. **206**
Çizelge 5.7 : Çalışmada ele alınan kazaların uzmanlarca belirtilen sıklıkları..... **208**
Çizelge 5.8 : Akciğer rahatsızlığı' düğümü şartlı olasılık tablosu..... **218**
Çizelge 5.9 : Toz bastırıcı su sistemi kullanımı' düğümü şartlı olasılık tablosu..... **220**
Çizelge 5.10 : 'KKD kullanımı' düğümü şartlı olasılık tablosu..... **222**
Çizelge 5.11 : 'Patlatmadan etkilenme' düğümü şartlı olasılık tablosu. **224**
Çizelge 5.12 : 'Kontrol dışı patlama' düğümü şartlı olasılık tablosu..... **227**
Çizelge 5.13 : 'Ateşleme kurallarına uyum' düğümü şartlı olasılık tablosu. **228**
Çizelge 5.14 : 'Ateşleme sonrası kontrol' düğümü şartlı olasılık tablosu..... **231**
Çizelge 5.15 : 'Patlatma bölgesinde kontrol' düğümü şartlı olasılık tablosu..... **233**
Çizelge 5.16 : 'Patlatma uyarısı' düğümü şartlı olasılık tablosu..... **235**
Çizelge 5.17 : Ekipman yaralanmasına dair olasılık çıkarımlarının kontrol edilmesi için uzmanlara sunulan tablo..... **241**
Çizelge 5.18 : 'Ekipman yaralanması" düğümü şartlı olasılık tablosu..... **241**
Çizelge 5.19 : Gaz sızıntısı-su baskını" düğümü şartlı olasılık tablosu. **243**
Çizelge 5.20 : Gaz sızıntısı-su baskını" düğümü şartlı olasılık tablosu **244**
Çizelge 5.21 : 'Saha kontrolü' düğümü şartlı olasılık tablosu..... **247**
Çizelge 5.22 : Kavlak düşmesine dair olasılık çıkarımlarının kontrol edilmesi için uzmanlara sunulan tablo..... **252**
Çizelge 5.23 : 'Kavlak düşmesi" düğümü şartlı olasılık tablosu..... **252**
Çizelge 5.24 : 'Kavlak düşürme' düğümü şartlı olasılık tablosu..... **254**
Çizelge 5.25 : Kavlak kontrol' düğümü şartlı olasılık tablosu. **257**
Çizelge 5.26 : 'Tahkimat etkinliği düğümü şartlı olasılık tablosu..... **259**
Çizelge 5.27 : 'Tahkimat kontrol' düğümü şartlı olasılık tablosu..... **261**

Çizelge 5.28 : Fiziksel zorlanma olayına dair olasılık çıkarımlarının kontrol edilmesi için uzmanlara sunulan tablo. **265**
Çizelge 5.29 : 'Fiziksel zorlanma' düğümü şartlı olasılık tablosu. **266**
Çizelge 5.30 : 'Düşme' düğümü şartlı olasılık tablosu. **267**
Çizelge 5.31 : "Göçük" düğümü şartlı olasılık tablosu. **269**
Çizelge 5.32 : Yeraltı kepçesi devrilmesi olayı olasılık kontrol tablosu. **273**
Çizelge 5.33 : "Yeraltı kepçesi devrilmesi" düğümü şartlı olasılık tablosu. **273**
Çizelge 5.34 : "Aracın çalışana çarpması" düğümü şartlı olasılık tablosu. **274**
Çizelge 5.35 : "Operatör sebepli aracın çalışana çarpması" düğümü şartlı olasılık tablosu. **275**
Çizelge 5.36 : "Araç arızası" düğümü şartlı olasılık tablosu. **276**
Çizelge 5.37 : "Çalışanın üzerine malzeme düşmesi" düğümü şartlı olasılık tablosu. **280**
Çizelge 5.38 : "Ray kalitesi" düğümü şartlı olasılık tablosu. **282**
Çizelge 5.39 : "Kafes boşluğuna düşme" düğümü şartlı olasılık tablosu. **285**
Çizelge 5.40 : "Karakol kapısı" düğümü şartlı olasılık tablosu. **287**
Çizelge 5.41 : "Kafes düşmesi" düğümü şartlı olasılık tablosu. **288**
Çizelge 5.42 : "Halat kaynaklı düşüş" düğümü şartlı olasılık tablosu. **288**
Çizelge 5.43 : "Halat kopması" düğümü şartlı olasılık tablosu. **289**
Çizelge 5.44 : "Paraşüt sistemi" düğümü şartlı olasılık tablosu. **290**
Çizelge 5.45 : "Bakım" düğümü şartlı olasılık tablosu. **292**
Çizelge 5.46 : "Mekanik arıza kaynaklı düşüş" düğümü şartlı olasılık tablosu. **292**
Çizelge 5.47 : "Mekanik arıza" düğümü şartlı olasılık tablosu. **293**
Çizelge 5.48 : "Otomatik fren sistemi" düğümü şartlı olasılık tablosu. **294**
Çizelge 5.49 : "Operatör kaynaklı düşüş" düğümü şartlı olasılık tablosu. **294**
Çizelge 5.50 : "Operatör kumanda hatası" düğümü şartlı olasılık tablosu. **296**
Çizelge 5.51 : "Kafesin tavana çarpması" düğümü şartlı olasılık tablosu. **297**
Çizelge 5.52 : "Motor kaynaklı çarpma" düğümü şartlı olasılık tablosu. **298**
Çizelge 5.53 : "Tavan durdurma mekanizması" düğümü şartlı olasılık tablosu. **298**
Çizelge 5.54 : "Operatör kaynaklı çarpma" düğümü şartlı olasılık tablosu. **299**
Çizelge 5.55 : Ağ içindeki olayların en iyi şartları altındaki gerçekleşme olasılıkları. **301**
Çizelge 5.56 : Bayes ağında olayların en iyi koşullarına dair atanan şartlı olasılık değerleri. **302**
Çizelge 5.57 : Olayların en kötü şartları altındaki gerçekleşme olasılıkları. **303**
Çizelge 5.58 : Bayes ağında olayların en kötü koşullarına dair atanan şartlı olasılık değerleri. **304**
Çizelge 5.59 : İstenmeyen olay şiddet seviyeleri. **306**
Çizelge 5.60 : Olayların muhtemel şiddet çıktıları. **306**
Çizelge 5.61 : Faaliyetlerin mesai içerisindeki süreleri ve wt^j ağırlıklar. **309**
Çizelge 5.62 : Faaliyetlerin olayları risk etki alanı içinde bulundurma seviyeleri (λij). **309**
Çizelge 5.63 : Risk-etki alanı seviyelerinin sayısallaştırılması. **310**
Çizelge 5.64 : Yeraltı madeni istenmeyen olaylarının, mevcut maden faaliyetleri kapsamındaki rij risk-etki ağırlıkları. **311**
Çizelge 5.65 : Faaliyetlerin, mevcut durumdaki ve risk kontrol seçenekleri ile gerçekleştirildiği durumdaki wtjsüre temelli ağırlıkları. **312**
Çizelge 5.66 : Delme operatörünün mevcuttaki ve önerilen ekipmana bağlı risk-etki alanı içinde bulunma seviyeleri ve risk-etki ağırlıkları. **313**

Çizelge 5.67 : ‘Patlatma uyarısı’ faaliyeti için önerilen ekipman ve mevcut kullanımdaki yönteme bağlı şartlı olasılık tabloları. **314**
Çizelge 5.68 : ‘Saha kontrol” faaliyeti için önerilen ekipman ve mevcut kullanımdaki yönteme bağlı şartlı olasılık tabloları. **316**
Çizelge 5.69 : ‘Kavlak düşürme” faaliyeti için önerilen ekipman ve mevcut kullanımdaki yönteme bağlı şartlı olasılık tabloları. **318**
Çizelge 5.70 : Ayna faaliyeti çalışanının mevcuttaki ve önerilen ekipmana bağlı risk-etki alanı içinde bulunma seviyeleri ve risk-etki ağırlıkları. **319**
Çizelge 5.71 : Nakliyat çalışanının mevcuttaki ve önerilen ekipmana bağlı risk-etki alanı içinde bulunma seviyeleri ve risk-etki ağırlıkları. **320**
Çizelge 5.72 : ‘Karakol kapısı” olayı düğümü için önerilen ekipman ve mevcut kullanımdaki yönteme bağlı şartlı olasılık tabloları. **321**
Çizelge 5.73 : Oluk yükleme faaliyeti sorumlu çalışanının mevcuttaki ve önerilen ekipmana bağlı risk-etki alanı içinde bulunma seviyeleri ve risk-etki ağırlıkları. **322**
Çizelge 5.74 : Kafes yükleme faaliyeti sorumlu çalışanının mevcuttaki ve önerilen ekipmana bağlı risk-etki alanı içinde bulunma seviyeleri ve risk-etki ağırlıkları. **323**
Çizelge 5.75 : Kafes nakliyatı faaliyeti için önerilen ekipman kullanımı ile “kafes düşmesi” olayı şartlı olasılık tablosu. **324**
Çizelge 5.76 : Kafes nakliyatı faaliyeti için önerilen ekipmanın kullanımındaki elektronik hata kaynaklı kafes düşmesi değişkenine bağlı şartlı olasılık tabloları ve mevcut durumdaki karşılığı. **324**
Çizelge 5.77 : Kafes nakliyatı faaliyeti için önerilen ekipman ve mevcut kullanımdaki değişkene bağlı şartlı olasılık tabloları**.** **325**
Çizelge 5.78 : Kafes nakliyatı faaliyeti için önerilen ekipman ve mevcut kullanımdaki “kafesin tavana çarpması” olayı şartlı olasılık tabloları. **325**
Çizelge 5.79 : Kafes nakliyatı faaliyeti için önerilen ekipman kullanımındaki “elektronik hata kaynaklı çarpma” olayı şartlı olasılık tabloları ve mevcut durum karşılığı **326**
Çizelge 5.80 : Kafes nakliyat faaliyeti sorumlu çalışanının mevcuttaki ve önerilen ekipmana bağlı **r**isk-etki alanı içinde bulunma seviyeleri ile risk-etki ağırlıkları. **326**
Çizelge 5.81 : Çalışma kök nedenlerinin öncül olasılıkları. **327**
Çizelge 5.82 : Ağ içindeki olayların mevcut durum koşulları altında gerçekleşme olasılıkları ve uzmanların olaylar hakkında sundukları sıklık ifadeleri. **330**
Çizelge 5.83 : Oluşturulan senaryolar ve kök nedenlerin ilişkili durumsal değerleri. **336**
Çizelge 5.84 : Senaryolara bağlı öncül olasılıklar. **337**
Çizelge 5.85 : Senaryo analizi **338**
Çizelge 5.86 : Yeraltı madeni istenmeyen olaylarının senaryolara göre gerçekleşme olasılıkları. **339**
Çizelge 5.87 : Mevcut durum senaryosu altında istenmeyen olayların şiddetlerine göre olasılıkları. **342**
Çizelge 5.88 : Kök nedenlerin istenmeyen olaylara göre soncul olasılıkları. **345**
Çizelge 5.89 : Yeraltı madeni faaliyetlerinin wrj genel risk-etki ağırlıkları..... **345**
Çizelge 5.90 : Vagon nakliyatı ile ilişkili geçmiş kaza kayıtları. **346**

Çizelge 5.91 : Faaliyetlerin risk kontrol seçenekleriyle gerçekleştirilmesi durumunda, olaylarla ilişkili rij risk-etki ağırlıkları. **348**
Çizelge 5.92 : "Risk kontrol II" sonrası ağda güncellenen olasılıklar. **349**
Çizelge 5.93 : "Risk kontrol III" sonrası ağda güncellenen olasılıklar. **349**
Çizelge 5.94 : "Risk kontrol IV" sonrası ağda güncellenen olasılıklar. **349**
Çizelge 5.95 : "Risk kontrol VII" sonrası ağda güncellenen olasılıklar. **349**
Çizelge 5.96 : "Risk kontrol X" sonrası ağda güncellenen olasılıklar..... **350**
Çizelge 5.97 : Bayes ağındaki, istenmeyen olayların mevcut durum ve risk kontrol ekipmanlarıyla gerçekleştirildiği durum altındaki karşılaştırmalı olasılıkları. **351**
Çizelge 5.98 : Yeraltı madeni faaliyetlerinin risk kontrol seçenekleri uygulamaları sonrası risk-etki ağırlıkları ve mevcut durum ile karşılaştırılması. .. **351**

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : Risk unsuru bileşenleri. **10**
Şekil 2.2 : Bir olayın grafiksel gösterimi. **15**
Şekil 2.3 : Nedensel ilişki içindeki iki olay. **16**
Şekil 2.4 : İki nedenli bir olayın grafiksel gösterimi. **17**
Şekil 2.5 : Olasılık çarkı. **32**
Şekil 2.6 : Olasılık çarkı çıkarım ekranı, Abbas ve diğ. (2008)'den uyarlanmıştır. .. **33**
Şekil 2.7 : Olasılık ölçekleri, Renooij, (2001) ve Van der Gaag ve diğ. (2002)'den uyarlanmıştır. **35**
Şekil 2.8 : Kesinlik eşdeğeri kumarı, Renooij (2001)'den uyarlanmıştır. **39**
Şekil 2.9 : Şans-oyunu eşdeğer kumarı. **39**
Şekil 3.1 : Zincir ilişkisi. **52**
Şekil 3.2 : Ortak neden ilişkisi. **53**
Şekil 3.3 : Ortak etki ilişkisi. **53**
Şekil 3.4 : İki bağımsız değişken. **54**
Şekil 3.5 : Örnek Bayes ağı-1. ..... **60**
Şekil 3.6 : Örnek Bayes ağı-2. ..... **62**
Şekil 3.7 : Şartlı olasılık tablosu çıkarımı için örnek ilişki. **71**
Şekil 3.8 : Xi faktörlerinden etkilenen A değişkeni. **73**
Şekil 3.9 : Bayes ağları nedensel yapılar içinde gözlemler ve müdahaleler, Hagmayer ve diğ. (2007)'den uyarlanmıştır. **80**
Şekil 4.1 : Çalışma metodolojisi. **85**
Şekil 4.2 : Hata ağacı mantık kapıları. **93**
Şekil 4.3 : Metodoloji kapsamındaki ağ yapısı. **97**
Şekil 4.4 : Çalışma için oluşturulan olasılık ölçekleri. **108**
Şekil 5.1 : Yeraltı madenciliği mesleki güvenliği risk analiz akışı. **122**
Şekil 5.2 : Teknolojik ekipmanlarla risk kontrol değerlendirmesi için analiz akışı. **123**
Şekil 5.3 : Madencilik sektörü operasyonel akışı. **124**
Şekil 5.4 : Çalışma kapsamı. **125**
Şekil 5.5 : Yeraltı krom madeni faaliyetlerinin süreçlere ayrılması. **132**
Şekil 5.6 : Tahkimatı sağlanmış bir yeraltı galerisi. **134**
Şekil 5.7 : Ayna işçisinin gevşeyen malzemeyi kürekle kaldırması. **134**
Şekil 5.8 : Yeraltı kepçesinin aynadan aldığı malzemeyi vagona dökmesi. **135**
Şekil 5.9 : Yeraltı madeninde vagonla nakliye. **135**
Şekil 5.10 : Yeraltı madeninde el arabası ile nakliye, Sarmiento ve diğ (2013). **136**
Şekil 5.11 : Yeraltı madeninde kafes. **136**
Şekil 5.12 : Akciğer- toz hastalıkları üst olayı hata ağacı gösterimi. **146**
Şekil 5.13 : 'Ekipman yaralanması' üst olayı hata ağacı gösterimi. **147**
Şekil 5.14 : Kavlak düşmesi üst olayı hata ağacı gösterimi. **150**
Şekil 5.15 : Fiziksel zorlanma üst olayı hata ağacı gösterimi. **152**

Şekil 5.16 : Patlatmadan etkilenme üst olayı hata ağacı gösterimi. **155**
Şekil 5.17 : Gaz sızıntısı-su baskını üst olayı hata ağacı gösterimi. **156**
Şekil 5.18 : Düşme üst olayı hata ağacı gösterimi. **158**
Şekil 5.19 : Göçük üst olayı hata ağacı gösterimi. **159**
Şekil 5.20 : Yeraltı kepçesi devrilmesi üst olayı hata ağacı gösterimi. **160**
Şekil 5.21 : Aracın çalışana çarpması üst olayı hata ağacı gösterimi. **162**
Şekil 5.22 : Çalışanın üzerine malzeme düşmesi üst olayı hata ağacı gösterimi. **164**
Şekil 5.23 : Vagoncu sıkışması üst olayı ile ilgili hata ağacı gösterimi. **165**
Şekil 5.24 : Kafes boşluğuna düşme üst olayı hata ağacı gösterimi. **166**
Şekil 5.25 : Kafes düşmesi üst olayı hata ağacı gösterimi. **169**
Şekil 5.26 : Kafesin tavana çarpması üst olayı ile ilgili hata ağacı gösterimi. **171**
Şekil 5.27 : Maden süreçleriyle bütünleşik istenmeyen olayları gösterir Bayes ağı. **175**
Şekil 5.28 : Maden ekipman teknolojisi seviyelendirilmesi. **185**
Şekil 5.29 : Slusher (Url-5). **187**
Şekil 5.30 : Uzaktan kumanda ile yönetilen yeraltı kepçesi (Url-6) **189**
Şekil 5.31 : Maden ekipman teknoloji seviyelendirmesi. **193**
Şekil 5.32 : Risk kontrol seçeneklerinin Bayes ağına dahil edilmesi. **205**
Şekil 5.33 : Olayların beklenen şiddet olasılıkları. **307**
Şekil 5.34 : Yeraltı madeni çalışanlarının mevcut çalışma koşullarında risk altında bulundukları İSG ile ilişkili olaylar ve meydana gelme olasılıkları. **329**
Şekil 5.35 : Kayaç yapısı kök nedeninin olay olasılıklarına etkisi. **331**
Şekil 5.36 : İSG eğitim kök nedeninin olay olasılıklarına etkisi. **331**
Şekil 5.37 : İSG denetim kök nedeninin olay olasılıklarına etkisi. **332**
Şekil 5.38 : İSG planlama kök nedeninin olay olasılıklarına etkisi. **332**
Şekil 5.39 : Çalışan dikkati kök nedeninin olay olasılıklarına etkisi. **333**
Şekil 5.40 : Çalışma zemini kök nedeninin olay olasılıklarına etkisi. **333**
Şekil 5.41 : Bayes ağı kök nedenlerinin olay olasılıklarına etkisi. **334**
Şekil 5.42 : Senaryolar altındaki olay olasılıkları ortalamaları. **340**
Şekil 5.43 : Olayların mevcut durum, en iyi, en kötü ve ortalama durum senaryoları olasılıkları. **341**
Şekil 5.44 : Olayların mevcut durumdaki şiddet olasılıkları. **342**
Şekil 5.45 : Olayların en iyi senaryo altında beklenen şiddet olasılıkları. **343**
Şekil 5.46 : Ağa eklenen risk kontrol seçenekleri ile süreçlerin yürütüldüğü teknolojik ekipman seviyesindeki değişiklikler. **347**

YERALTI MADENCİLİK SEKTÖRÜ MESLEKİ GÜVENLİK RİSK ANALİZİ

ÖZET

Tüm dünyada artan farkındalığa ve alınan önlemlere rağmen, madencilik faaliyetlerinde yaşanan iş kazaları ve hastalıkları kabul edilebilecek düzeyde değildir. Özellikle ülkemizde yaşanan kazalar ve kaybedilen hayatlar, ülkemiz madenciliği ile ilgili risk araştırmalarının gerekliliğini göstermektedir. Çalışma kapsamında, ülkemiz madenciliği mesleki güvenlik riski analizi için uygun bir metodoloji oluşturulması hedeflenmiştir. Doğru metodolojilerle gerçekleştirilen risk analizlerinin çıktıları, risk azaltma ve ortadan kaldırma politikalarının geliştirilmesinde doğru stratejilerin oluşturulmasını sağlayacaktır.

Maden faaliyetleri süresince, resmi olarak kayıtlara geçen geçici ya da kalıcı iş görememe durumlarının yanı sıra kayıtlara işlenmeyen pek çok yaralanma da meydana gelmektedir. Bu sebeple, maden mesleki güvenliği üzerine risk analizi yapabilmek için, öncelikle mesleki güvenliğe aykırı büyün olayların ortaya çıkarılması ve tümünün çalışmaya dahil edilmesi gerektiği sonucuna varılmıştır.

Kazalarla ilişkili risk önleme stratejilerinin geliştirilebilmesi için kazaların nedensel incelemelerinin yapılması gerekir. Bayes ağları, kazaların nedensellikleri ile birlikte ele alınabilmesinde işlevsel bir araç olduğundan, çalışma kapsamında kullanılan ana yöntem olmuştur.

Nedensel ilişkilerin belirlenmesinde kullanılan kavram olasılıktır. Olasılıklar, gerçekleşmesi doğrudan tespit edilemeyen belirsiz durumlar hakkında sayısal ifadeler sunar. Birbirleri ile nedensel ilişki içinde oldukları bilinen olaylara dair şartlı olasılık verileri, geçmiş veriler üzerinde yapılacak incelemelerle ya da deneysel gözlemlerle ortaya çıkarılır. Bu iki yöntemin de kullanılabilir olmadığı alanlarda risk incelemeleri için uzman yargıları mecburi veri kaynağı olarak görülür.

Uzman yargıları ile olasılık çıkarımlamanın, bilimsel prensiplere uygunluğunun sağlanması, ayrı bir araştırma konusu olarak kabul edilir. Çünkü, bir konu hakkında her uzmanın farklı değerlendirme yapabilmesi ya da uzmanların aynı konu için farklı açılardan farklı değerlendirmeler yapabilmesi, değerlendirmelerin ancak nadiren resmi bir fonksiyona dayandırılabileceğini gösterir. Ancak literatürde karmaşık problemlerin çözümü için uzman fikirlerinin kullanımına güvenme ihtiyacının giderek artacağı da belirtilmektedir.

Uzman yargılarının bilimsel çalışmalarda kullanılabilmesi için bilişsel düşünce ve nedensellik ile ilişkili konuları ele alan literatürde, uzman yargılarıyla sağlanan verilerin bilimsel rasyonelliği için gerekli şartlar ortaya koyulmuştur. Uzman yargılarının bilimselliğinin kabulü konusunda en önemli unsurun, uzmanların yanlı yargılarının fark edilmesi olduğu belirtilir. Sübjektif olasılık çıkarımı için var olan tekniklerin incelenmesinin ardından, analizin kapsamı, uzmanların olasılık bilgisi ve analist-uzman iş birliği seviyesine bağlı olarak, her çalışma için uygun yöntemin

değişkenlik gösterebileceği görülmüştür. Bu sebeple, çalışma kapsamında "analist tarafından ilişkili karşılaştırmalarla tutarlılığı çıkarım süresince kontrol edilen, grupsal ve doğrudan olasılık çıkarım yöntemi" geliştirilmiştir.

Yapılan sorgulamalar sonrasında yeraltı madeni mesleki güvenliği ile ilişkili 15 ana olay belirlenmiş ve bu olayların hata ağaçları ile nedensel incelemeleri yapılmıştır. Olayların ortaya çıkarılan nedensel ilişkilerinin, Bayes ağına aktarılmasının ardından, uzman yargıları ile bilimsel prensiplere uygun bir şekilde çıkarımlanan olasılık değerleriyle ağ parametreleri belirlenmiş ve ağ içindeki olayların gerçekleşme olasılıkları Bayes Teorisi'ne uygun bir şekilde hesaplanmıştır.

Yeraltı madeninde, mesleki güvenlik ile ilişkili olayların yaşanmasında etkili kök nedenler, "iş sağlığı ve güvenliği eğitimi, denetimi ve planlaması, kayaç yapısı, çalışan dikkati ve çalışma zemini" olarak belirlenmiştir. Kök nedenlere dair yapılan duyarlılık analizleri sonucunda en etkili nedenlerin iş sağlığı ve güvenliği eğitimi, denetimi ve planlamasını içine alan yönetimsel unsurlar olduğu görülmüştür. Diğer yandan çeşitli senaryolar oluşturularak, olayların farklı varsayımlar altında meydana gelme olasılıklarındaki değişkenlikler izlenmiştir. "Fiziksel zorlanma" ve "düşme" olaylarının en iyi senaryo altında dahi gerçekleşmesi beklenirken, en kötü senaryo altında çalışanların %90'ının "akciğer rahatsızlığı" yaşamasının beklenmesi, çalışmanın en çarpıcı sonuçlarından kabul edilebilir.

Son yıllarda gözlenen teknolojik gelişmeler madencilik sektörü için büyük avantajlar sunmasına rağmen, maden kaza sıklıklarının azalmadığı görülmektedir. Bunun nedeni, madencilikte gelişmiş teknolojik ekipman kullanımının, kömür madenleri dışında tam olarak sağlanamamış olmasıdır. Dolayısıyla, çalışma kapsamında teknolojik ekipman kullanımının, yeraltı madenciliği mesleki güvenlik riskine etkisinin incelenmesine de karar verilmiştir. Maden ekipman teknolojileri; manuel, mekanizasyon ve otomasyon seviyeleri altında detaylı bir şekilde incelenmiştir. Farklı teknolojik ekipmanlarla sürdürülmesi mümkün faaliyetler belirlenmiş ve bu ekipmanların Bayes ağına dahil edilmesi sağlanmıştır. Böylelikle farklı teknolojik ekipman kullanımına bağlı senaryolar geliştirilerek, analizleri yapılmıştır.

Çalışma kapsamında ele alınan olayların farklı şiddetlerde çıktılarının olması, olayların şiddetleri ile birlikte ele alınmasını gerektirmiştir. İş görememe gün sayıları temel alınarak olayların şiddet derecelendirmeleri yapılmıştır. Kimi olayların kalıcı iş görememe-ölüm çıktısına sebep olması beklenirken, kimi olayların 0-3 gün iş görememeye neden olması beklenir. Bu yüzden olaylarla ilgili her türlü inceleme ve risk önleme stratejileri geliştirirken, olayların beklenen şiddet çıktılarıyla birlikte ele alınmaları önemlidir.

Faaliyetlerin gerçekleştirilme sürelerinin farklı olması ve çalışanlarını farklı seviyelerle olay risk-etki alanları içinde bırakması nedeni ile, olayların faaliyet çalışanlarını maruz bıraktıkları risk ağırlıkları belirlenmiştir. Böylelikle yeraltı madeni faaliyetlerinin, mesleki güvenlik açısından istenmeyen olaylara elverişliliği konusunda, risk seviyelerini ortaya çıkaran bütünsel belirlemelerde bulunulmuştur.

Sonuç olarak, risk değerlenmesi konusunda her sistemin içinde bulunduğu şartlara göre kendi doğasını yaratacağı kabul edildiğinden, çalışma kapsamında mesleki güvenlik riski analizi için kapsamlı bir metodoloji geliştirilmiştir. Yeraltı madenciliği faaliyetleri temel alınarak uygulaması yapılan metodolojinin, literatür bulguları ve işletmenin sınırlı sayıdaki kaza kayıtlarını destekler nitelikte sonuçlar sunduğu görülmüştür. Gelecek çalışmalar için, oluşturulan metodolojinin farklı sektörlerdeki süreç risk değerlendirmelerinde kullanılabileceği düşünülmektedir.

OCCUPATIONAL SAFETY RISK ANALYSIS IN UNDERGROUND MINING SECTOR

SUMMARY

Despite the increasing awareness and precautions are taken all over the world, occupational accidents and diseases due to mining activities are not an acceptable level. Especially the accidents and lost lives in Turkey show the necessity of risk analysis related to mining. Within the scope of this study, it is aimed to propose a suitable methodology for mining occupational safety risk analysis. The outcomes of the risk evaulations carried out with the right methodologies will provide the right strategies for the development of risk mitigation and elimination policies.

During the mining activities, there are official records for temporary or permanent incapacities due to accidents, but there are also many unrecorded injuries. For this reason, it is considered that addressing any incidents that could potentially harm workers in risk analysis would be a more accurate approach for mining occupational safety review. Because the negative effects of underground mines related to occupational health and safety issues are spread to a much wider range than recorded accidents.

Regardless of the recording situation or the frequency and severity of the events, all incidents that may harm employees are accepted as accidents within the scope of the study. Causal investigations of these accidents need to be done in order to develop risk prevention strategies. Causal definitions provide the root causes of accidents, in other words, the ways in which they occur. This provides a much more effective basis for research than risk scoring by directly determining probability and severity for dangerous events.

After determining the conditions that cause the accidents, these conditions must be dynamically modeled. In risk analysis, dynamic modeling of risk will take into account the interdependencies. Bayes networks have been the main method used in the study, as they are a functional tool to deal with the causality of accidents.

The concept used in determining causal relationships is probability. Probabilities provide numerical statements about uncertain situations, the realization of which cannot be directly detected. Conditional probability data on events known to have a causal relationship with each other are revealed by examinations or experimental observations on historical data. In areas where these two methods are not available, expert judgments are considered a compulsory data source for risk investigations. The elements of “risk, uncertainty and expert judgments form an important triangle in the risk investigations without statistical data.

Ensuring the appropriateness of probability inference and scientific principles with expert judgments is considered as a separate research subject. Because the fact that each specialist can make different evaluations about a subject or experts can make different evaluations for the same subject from different perspectives shows that

evaluations can only be rarely based on a formal function. However, it is stated in the literature that the need to rely on the use of expert judgments for the solution of complex problems will gradually increase.

Necessary conditions for the scientific rationality of the study data have been revealed after the literature reviews on cognitive thinking and causality for the use of expert judgments in scientific studies. It is stated that the most important factor in the acceptance of the scientific judgment of the expert judgments is the recognition of the biased judgments of the experts. After examining the techniques available for subjective probability elicitation, it was found that the appropriate method for each study could vary depending on the scope of analysis, the probability knowledge of the experts and the level of analyst-expert cooperation.

For this reason, within the scope of the study, "group and direct probability inference method, whose consistency with the related comparisons with the analyst is controlled during the extraction period" is developed. Consistency of subjective probability data based on personal knowledge and experience is the most important factor for the reliability of risk analysis. Therefore, consistency controls were performed in three different methods for the probability values elicitated by the experts during and after the inference process.

Following the inquiries, 15 main events related to the underground mine occupational safety have been identified and causal investigations of these incidents have been made with error trees. After transferring the causal relationships of the events to the Bayes network, the network parameters and probability values determined in accordance with scientific principles were determined in accordance with the expert judgments and the probability of the events within the network was calculated in accordance with the Bayes Theory.

The root causes that are effective in experiencing events related to occupational safety in the underground mine are identified as "occupational health and safety training, control and planning, rock structure, employee attention, and work ground". With the sensitivity analysis of root causes identified in the study, it was determined that the most effective reasons were not related to the employee but the managerial elements created within the scope of the study. It is seen that education, supervision and planning elements related to occupational health and safety have a very strong effect on the occurrence of accidents. On the other hand, various scenarios are created, and variations in the probability of events occurring under different assumptions are monitored. The findings that "Physical strain" and "falls" are expected to occur even under the best scenario and 90% of the workers in the worst scenario are expected to experience "lung disturbance" can be accepted as the most remarkable consequences of the analysis.

Although the technological developments observed in recent years offer great advantages for the mining sector, the frequency of mine accidents does not decrease. This is because the use of advanced technological equipment in mining has not been fully achieved, except for coal mines. Therefore, how the occupational safety of the underground mining, mostly managed by manual activities, will be affected by technological developments is included in the risk analysis as evaulation of the risk control options. Mining equipment technologies have been studied in detail under manual, mechanization and automation levels. Activities that can be maintained with different technological equipment are determined and these equipment are included in

the Bayes network as risk control options. Thus, scenarios related to the use of different technological equipment are developed and analyzed.

The fact that the events discussed within the scope of the study have consequences at different levels required that the events be handled together with their severities. For this reason, accident severity levels were specified based on the number of days of incapacity. While some accidents are expected to result in permanent disability-death, some accidents are expected to result in 0-3 days incapacity. Therefore, it is important to ensure that all types of investigations and risk prevention strategies related to accidents are handled with the expected different consequences.

The risk weights of the events that the employees exposed to the activity employees are determined due to the different duration of the activities and leaving their employees within the event risk-impact areas with different levels. Thus, holistic determinations were made regarding the suitability of underground mining activities for unwanted events in terms of occupational safety, revealing the risk levels.

As a result, a comprehensive methodology has been developed for occupational safety risk analysis within the scope of the study, since it is accepted that each system will create its own nature according to the conditions in which risk assessment is in place. It has been observed that the methodology applied based on underground mining activities offers results supporting the literature findings and the limited number of accident records of the enterprise. For future studies, it is considered that the methodology created can be used in process risk assessments in different sectors.

1. GİRİŞ

Madencilik sektörü, firmaların sahip olduğu teknolojik olanaklara göre farklı risk profillerine sahip bir sektördür. Özellikle, gelişmekte olan ülkelerde maden firmaları teknolojik ekipmanlardan yoksun faaliyet göstermektedirler. Uzun dönemli kaza istatistikleri incelendiğinde, dünya genelinde madencilik sektörü kaza risklerinin diğer sektör ortalamalarının üzerinde olduğu ve yeraltı madenciliğinin de en yüksek işçi ölüm oranlarına sahip olduğu görülmektedir (Azapagic, 2004). Çoğunlukla emek yoğun faaliyetlerden oluşan ülkemiz madenciliğinde, 2014 yılında yaşanan ve 301 çalışanın ölümüyle sonuçlanan Soma kazası da madencilik sektörü çalışanlarının maruz kaldığı mesleki güvenlik riskine dair önemli bir göstergesidir. Maden kazaları, çalışanların hayatlarını tehlikeye sokarken, maden firmalarını da yüklü ekonomik maliyetler, şiddetli çevresel sorunlar ve yıkıcı sosyal zararlarla tehdit etmektedir.

Gelişmiş ülkeler de dahil olmak üzere son yirmi yıldır madencilik iş sağlığı ve güvenliği konusunda sağlanan gelişmelere ve maden teknolojisindeki ilerlemelere rağmen, maden kazaları kabul edilemeyecek sıklıkla yaşanmaya devam etmektedir (Komljenovic ve diğ., 2017; Samantra ve diğ., 2016; Boudreau-Trudel ve diğ., 2014). Bu yüzden maden kazalarının ve çalışanların mesleki güvenliğini tehdit eden tüm risk unsurlarının araştırılması madencilik endüstrisi ve literatürünün öncül konularındandır. Çalışanlara zarar verme ihtimali olan her türlü istenmeyen olaya dair gelişmiş risk analizlerine (Nawrocki ve Jonek-Kowalska, 2016) ve beraberinde kaza önleme stratejilerinin geliştirilmesine ihtiyaç duyulmaktadır.

İş sağlığı ve güvenliği ile ilişkili mesleki kazalara yönelik risk analizi için, öncelikle kazaları ayrıntılı tanımlayabilmek ve kazaların meydana geliş nedenlerini ortaya çıkarmak gerekmektedir (Khanzode ve diğ., 2011). Tıpkı nükleer santraller, havacılık sektörü ve uzay araştırmaları alanlarında uygulanan kapsamlı güvenlik araştırmaları gibi, yaşanma sıklığından ve şiddetinden bağımsız olacak şekilde, çalışan sağlığını ve mesleki güvenliğini tehdit eden her türlü istenmeyen olay kapsamlı olarak incelenmelidir.

Madenlerdeki iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili koşullar, maden firmasının sahip olduğu güvenlik kültürü, madenin jeolojik yapısı, makine-teçhizat imkânları ve insan faktörleri gibi doğal ve doğal olmayan çeşitli faktörlere bağlıdır. Madenlerin doğası gereği sahip oldukları faylı-kırıklı kayaç yapıları ve olumsuz çalışma koşulları doğal faktörler olarak, yönetimsel ve operasyonel seviyede çalışanlar tarafından alınan kararlara bağlı ortaya çıkan insanlara bağlı unsurlar da doğal olmayan faktörler olarak ele alınabilir.

Çeşitli faktörlere bağlı olarak değişen çalışma koşulları, istatistiklere yansıyan çok kayıplı kazaların yanı sıra raporlara işlenmeyen pek çok kaza ve yaralanmaların meydana gelmesine de neden olmaktadır. Sektör uzmanlarıyla yapılan görüşmeler sonrasında, yaşanan istenmeyen olayların raporlara işlenmemesinin, işçiler ve amirler sebepli iki farklı açıklamaya sahip olduğu görülmüştür:

1. İş kazası yaşayan işçinin, kazayı amirine bildirmemesi: İşçinin, yaşadığı iş kazasının şahsi ihmali sebepli olduğunu bilmesi, kaza yapan bir çalışan gibi görünüp amirlerinin gözünden düşmek istememesi ve işini kaybetmek istememesi sebepli, kendi ve çalışma arkadaşlarının gayretiyle işine devam etmesi.
2. İş kazasını amirin raporlamaması: Amirlerin iş kazasından haberdar olup, firmayı kazalarla ilişkili yasal yaptırımlardan kurtarmak istemesi ve kazaya uğramış işçiyi hastaneye götürmeden, şahsi müdahalelerle iş görebilmelerini sağlayıp, yaşanan iş kazası ile ilgili resmi işlem yapmaması.

Yaşanan iş kazalarının raporlara işlenmiyor olabilmesinden dolayı, yeraltı madenciliği mesleki güvenlik risk analizleri, istatistiksel veri tabanına dayandırılamayacaktır. Mesleki kaza ve yaralanmaların önlenebilmesi için uygun stratejiler geliştirmeyi destekleyecek analizler için kayıtlı verilerden çok daha fazlasını sunabilecek olan uzman görüşlerinden yararlanmak, gerekli ve zorunlu bir yaklaşım olarak kabul edilebilir.

Bir risk analizi yapılırken, ayrıntılı geçmiş verilere sahip olunmaması halinde, üzerinde durulan en önemli konu verilerin belirsizliğidir. Risk analizlerinin temel parametreleri olan olasılık değerlerinin uzman yargılarıyla çıkarımlanması durumunda, verilerin bilimselliğinin sağlanması çalışmaların en önemli endişelerdendir. Bu sebeple, “risk, belirsizlik ve uzman yargıları” unsurları,

istatistiksel verilerin olmadığı risk incelemelerinde önemli bir üçgen meydana getirir. Bu durum, uzman yargılarının bilimselliğinin sağlanması konusunda ayrı bir çalışma yükü ortaya çıkarır. Uzman yargılarının bilimsel kullanımı konusunda, Ayyub (2001)'un, "analistler, mühendisler ve bilim adamları karmaşık problemleri giderek daha kısıtlı kaynakların oluşturduğu şartlar altında verilen kararlarla çözmeye çalışacaklardır. Bu yüzden de belirsizlik için güvenilecek yöntemlere ve uzman fikirlerinin kullanımına güvenme ihtiyacının artacaktır" ifadesi de bu düşünceyi destekler niteliktedir.

Sektör uzmanlarıyla yapılan ön görüşmeler sonrasında, madenin türünden de bağımsız olarak, yeraltı madeninde faaliyet gösterilen tüm süreçlerde, çalışan sağlığını etkileyen irili ufaklı pek çok istenmeyen olayın meydana geldiği anlaşılmaktadır. Dolayısıyla bu çalışmanın motivasyonu, yeraltı madeni iş sağlığı ve güvenliği ile ilişkili tüm istenmeyen olayları tanımlamak, anlamak ve önlenmesine yönelik bulgular sunan kapsamlı bir risk analizi gerçekleştirmek olmuştur. Risk analizi, risk unsurları ve ilişkili olarak geliştirilmiş stratejik alternatiflerin ölçeklendirilip, sıralanmasının sağlanması ve riskin yönetilebilmesi için yapısal bir çerçeve oluşturulmasıdır (Nordgård ve Sand, 2010). Dolayısıyla, yeraltı madenciliği mesleki güvenlik risk analizi ile faaliyetlerin çalışanlar için sebep olduğu mesleki güvenlik risklerinin belirlenmesi ve analizinin yapılması sağlanacaktır. Kapsamlı risk analizleri yetkililere, risk önleyici ve azaltıcı stratejiler geliştirmek için yararlı bir araç sağlayabilecektir. Bu tez çalışmasında, yeraltı madeni mesleki güvenlik risk analizi için maden faaliyetleri süresince meydana gelebilecek tüm istenmeyen olayların bir arada ele alınabilmesi hedeflenmiştir. Faaliyetlerin tümüyle bütünleşik bir yapı altında risk analizlerinin yapılmasına imkân sağlayan Bayes Ağları Analizi kullanılmıştır. İstatistiksel veri tabanlarının yokluğunda, uzman görüşleri ile gerçekleştirilebilen bu mesleki güvenlik risk analizinin benzer akademik çalışmalarda kullanılabilmesi için kapsamlı bir metodoloji sunulmuştur.

1.1 Tezin Amacı

Yeraltı madenleri ile ilgili değişen iş sağlığı ve güvenliği yasalarına ve gelişen maden teknolojisine rağmen yaşanmaya devam eden kazalar, maden faaliyetleri boyunca çalışanların maruz kaldıkları mesleki güvenlik risklerinin belirlenmesini gerektirmektedir. Endüstriyel bir firmanın operasyonel faaliyetlerinden sorumlu bir

çalışanının, mesleki güvenlik riskinin belirlenmesine yönelik literatür araştırması yapıldığında alan çalışmalarının yetersizliği görülür. Benzer şekilde maden kazaları literatüründe de çalışma koşullarına bağlı olarak çalışanların maruz kaldığı güvenlik risklerinin belirlenmesine yönelik eksiklikler, mevcut çalışmalar, sektör uzmanları ve akademisyenlerince de belirtilmektedir.

Tezin amacı, teknolojik gelişmişliğe rağmen yaşanan dramatik kazalar, ilgili literatür eksikliği ve sektör çalışanları ve akademisyenlerinin görüş ve önerileri doğrultusunda ortaya çıkmıştır. Çalışanların maden faaliyetlerini daha güvenli koşullarda sürdürebilmesi için yönetmelikler geliştirilmeye çalışılsa da maden faaliyetleri süresince çalışanların zarar görmeye devam ettiği ve hatta can kayıplarının dahi engellenemediği yaşanan olaylarla anlaşılmaktadır. Literatürdeki risk analizlerinden farklı olarak, bu tez çalışmasında, güvenilirliği sorgulanan iş kazaları kayıtlarından bağımsız olarak güvenlik risk analizi yapılmıştır. Böylelikle, bir işletmenin faaliyetleri süresince çalışanlara zarar verme ihtimali olan, tüm mesleki kaza ve yaralanmaların nedensellik ilişkileri ile birlikte ortaya çıkarılması ve çalışanlara yönelik sektörel mesleki güvenlik risk analizi yapılması hedeflenmiştir.

1.1.1 Nitel amaçlar

Konu ve kapsam açısından:

- Risk analizini, firma faaliyetleri süresince meydana gelen tüm süreçleri göz önüne alacak şekilde planlamak,
- Çalışanların iş sağlığı ve güvenliğini tehdit edici olası kaza ve yaralanmaların -istenmeyen olayların- belirlenmesi,
- İstenmeyen olayları belirlerken, literatürde ele alınan belirli kazalara bağlı kalarak değil, kayıtlarda olmasa bile çalışanlara zarar verebilecek tüm olayları ele alacak şekilde sorgulama yapmak.

Risk analizi çerçevesinden:

- Yeraltı madeni iş sağlığı ve güvenliğini tehdit edici istenmeyen olayların sebeplerini ve kök nedenlerini belirlemek,
- İnsan dikkatsizliği unsurunu, kazaların yaşanmasında engellenemeyecek bir değişken olarak ele almak, diğer bir deyişle, kazaların ana kaynağının çalışan olmayabileceğini kabul etmek,

- İstenmeyen olayları, doğrudan sebepleri ve kök nedenleri arasındaki ilişkileriyle birlikte ele alarak grafiksel gösterimini sağlamak ve istenmeyen olaylara dair kapsamlı bir nitel perspektif sunmak,
- Yeraltı faaliyetlerinde kullanılan ekipmanların sahip olduğu otomasyon teknolojisine göre yarattığı risk seviyelerindeki değişiklikleri incelemek,
- Yeraltı faaliyetlerinin hangi mesleki güvenlik riskleri ile ilişkili olduğunu tanımlamak ve faaliyetlerin risk derecelendirmesini yapmak,
- Firma yöneticilerinin kazalara dair önleyici güvenlik önlemleri alabilmesi ve kaynakların uygun dağıtabilmeleri için kaynak oluşturmak.

1.1.2 Nicel amaçlar

Veri toplama açısından:

- Risk analizi olasılık parametrelerinin belirlenmesinin, maden faaliyetleri konusunda uzman, fakat olasılık konusunda uzman olmayan kişilerce yapılabilmesi için bilimsel konsensuslara uygun bir uzman yargıları destekli olasılık çıkarım metodolojisi geliştirmek,
- Bayes Ağları Analizi kapsamında, olasılık parametrelerine entegre olay şiddet değerlendirmeleri sunmak,

Risk analizi metodolojisi açısından:

- Yeraltı madeni faaliyetleri sırasında çalışanlara zarar verebilecek tüm istenmeyen olayların meydana gelişlerinin olasılıklarını belirlemek,
- Kayıt altına alınmayan kaza raporlarının olduğunu varsayarak, yalnızca geçmiş kaza verileri aracılığıyla değil, faaliyetler süresince herhangi bir sebepten ortaya çıkabilecek tüm iş kaza ve yaralanmaları konusunda en fazla bilgi ve deneyime sahip mühendis ve işçilerin görüşleri aracılığıyla olasılık belirlemeleri yapmak,
- Kök nedenlerin kazaların üzerindeki etkilerini belirlemek,
- Kazaların meydana gelmesinde en fazla etkiye sahip nedenleri tespit etmek,
- Kazaların meydana gelmesinde, önüne geçilmesi çok zor olan çalışan dikkatsizliği varsayımı altında, diğer kaza sebeplerinin etkilerini belirlemek,

- Kazaların türlerine göre şiddetlerini belirlemek,
- Gerçekleşmesi en muhtemel kazaların, en fazla şiddete sebep olabilecek kazaların ve en muhtemel kaza şiddetlerini tespit etmek,
- Yeraltı madeni çalışanlarının bulundukları faaliyetlere göre etkisi altında kaldıkları risk ağırlıklarını belirlemek,
- Madenlerde faaliyetlerin emek yoğun sürdürülmesine ve otomasyon seviyelerine göre farklı teknolojik ekipmanlarla sürdürülmesine bağlı mesleki güvenlik risk seviyesinde yarattığı değişkenliği belirlemek.

1.2 Kapsam

Literatürün ve madencilik sektörünün mevcuttaki durumuna yönelik ortaya çıkmış bu çalışmada, Bayes ağları aracılığıyla mesleki güvenlik risk analizi sunulmaktadır.

- Çalışma kapsamında, bir firmanın operasyonları ile ilişkili, çalışanları güvenlik riski altında bırakan tüm istenmeyen olayları ele alınmıştır.
- Bayes ağları prensibine uygun olarak olayların, meydana gelmesine neden olan kök neden ve ara olaylarla birlikte sunulması çalışmanın ana hattını oluşturmaktadır.
- Farklı süreçler altında, kazaların olasılık ve şiddetleri ile ilişkili güvenlik risk karşılaştırmalarının yapılması sağlanacaktır.
- Operasyonlarda kullanılan teknolojik ekipmanların otomasyon seviyelerine göre güvenlik riski üzerindeki etkisinin incelenmesi sunulacaktır.

1.3 Çalışmanın Özgünlüğü

Tez çalışması endüstriyel firmaların sürdürülebilirliklerinde en önemli sosyal unsur olan çalışan iş sağlığı ve güvenliğini ele almaktadır. Ekonomik ve çevresel sürdürülebilirlik unsurlarının yanında, sosyal unsurların sayısallaştırılabilmesi literatürün çözümlemeye çalıştığı önemli problemlerdendir. Bu sebeple tez çalışmasında, sektöründen bağımsız olarak firmaların operasyonel faaliyetleri sebebiyle çalışanların maruz kaldığı güvenlik riskinin analiz edilebilmesine yönelik metodolojinin konu alınması, çalışmanın en önemli özgünlüğünü ortaya koymaktadır.

Çalışmanın ilişkili literatürdeki çalışmalardan farklılaşmasını sağlayan diğer önemli hususlar aşağıda belirtilmiştir:

- Risk analizi için çalışanların maruz kaldığı tüm mesleki güvenlik ile ilişkili olayların ele alınması ve çalışmanın bu olayların tamamına bütünsel yaklaşımı.
- Yeraltı madeni faaliyetleri boyunca yaşanan tüm istenmeyen olaylarının, alt olaylarının ve temel nedenlerinin belirlenmesi.
- Olayların olasılık çıkarımları için, uzman yargıları destekli olasılık çıkarım yöntemi geliştirilmesi.
- Ele alınan istenmeyen olayların, meydana gelmeleri halinde çalışanlara vereceği zararın farklı şiddet dereceleri ile değerlendirilmesi.
- Faaliyetler kapsamında olay risk-etki değerlendirmesi sunması.
- Maden ekipmanlarının sahip olduğu teknolojik seviyelerinin değerlendirilmesi için ölçek sunulması.
- Operasyonel faaliyetlerde kullanılan ekipman teknolojisinin, mesleki güvenlik risk seviyesine olan etkisinin belirlenmesi

2. RİSK ANALİZİ

Risk kavramı, senaryo, olasılık ve çıktı girdileriyle tanımlanan bir sistem içerinde ele alınır (Kaplan, 1997). Riskli bir olayın gerçekleşmesi, etkin bir takım şartlı öncül olaylara bağlıdır. Dolayısıyla riskin bağlı olduğu şartlı olaylar ele alınmadan risk hakkında konuşulamaz (Fenton ve Neil, 2012). Bu şartlı olaylar için, olayın gerçekleşmesine sebep olan olay birleşimleri ifadesini kullanmak da mümkündür. Dolayısıyla sağlıklı bir risk analizi, istenmeyen olay ya da olayların meydana gelmesine yol açan süreçlerin ya da diğer bir deyişle olay bileşimlerinin tüm ayrıntılarıyla ortaya çıkarılmasını gerektirecektir.

Efektif yönetilmeye çalışılan her sistem içinde sistem başarısı için risk tanımlaması, riskin sayısallaştırılması, ölçülmesi ve karar verme süreçlerinde ilişkili belirsizlik ve değişkenliklerin ele alınması gerekir. Dolayısıyla risk analizi sadece kazalar odaklı değildir. İncelenen risk unsuru doğal felaket, kaza, arıza, hata, aksaklık, problem ya da tatminsizlik gibi herhangi bir istenmeyen olay olarak tanımlanabilir. Sistemlerin optimum davranışını olumsuz anlamda etkileyebilecek her unsurun yönetimine risk analizi prensibinden yaklaşmak mümkündür.

Örneğin, teknolojik sistemlerin başarısı, birbirinden bağımsız olmayan yazılım, donanım, organizasyon ve insan boyutu olmak üzere; dört farklı boyutun bir aradaki performansına bağlıdır. Sistem hatalarına dair risk incelemesi yaparken, birbirinden zorlukla ayırt edilen insan ve organizasyon hataları başta olmak üzere, kök nedenin gizli olduğu dört unsurun bir arada ele alınması gerekliliği kaçınılmazdır (Haimes, 2009). Risk analizi ile sistem hatalarının kök nedenlerine ulaşarak, sahip olunan kısıtlı kaynakları risk yönetimi için doğru unsurlara atayabilmek hedeflenir.

Bir olay hakkında ele alınan risk unsuru için, ilgili perspektife göre farklı açılardan inceleme yapmak mümkündür. Örneğin; kara yolları riskleri, karayolu trafiğini etkileyecek unsurlar, insan hayatı için tehlikeli durumlar ya da araç donanımına zarar verebilecek durumlar gibi farklı açılardan incelenebilir. Benzer şekilde, bir iş yerinde meydana gelebilecek bir iş kazasının, çalışan sağlığı, işletmeye yarattığı yasal maliyetleri ya da işletmenin marka değerine etkisi olarak farklı açılardan incelenmesi

mümkündür. Dolayısıyla risk unsurunun inceleneceği farklı bakış açılarına göre ortaya çıkacak etki ya da zarar olguları ayrı ayrı incelenebilir. Örneğin, Nordgård ve Sand (2010) çalışmalarında, bakım yönetimi ile ilişkili risk unsurlarını, Garvey ve diğ. (2015) tedarik zinciri yönetimi kapsamındaki risk unsurlarını ve Chin ve diğ. (2009) ise yeni ürün geliştirme projelerindeki risk unsurlarını konu almışlardır. Bu tez çalışmasında da sistem içerisindeki hataların, işletmeye maddi bir zarar yansıtmasına ya da yasal olarak kayıt altına almayı gerektirmesine bakılmaksızın, şiddeti ne olursa olsun sistem çalışanlarının sağlığına yönelik tehlike yaratan tüm risk unsurları ele alınması hedeflenmiştir. Dolayısıyla bu çalışmada, risk analizi kapsamında, belli bir süreç içerisinde gerçekleşme potansiyeli olan istenmeyen olayların tümünün ele alınabileceği düşünülmüştür.

Risk analizi çalışmalarının kritikliği, incelenen unsurlarla ilgili verilerin kolaylıkla analiz edilemediği alanlarda daha da artmaktadır. Bu durum, risk kaynaklarının tespiti için gerekli durumların belirsizlik göstermesi sebeplidir. Belirsizliği aşabilmek için, istenmeyen olayların nedensellik çerçevesi altında incelenmesi gerekir. Çünkü olaylar, çeşitli senaryolar/koşullar altında, pek çok alt olayın birbiri ile nedensel olarak ilişkili olmasıyla gerçekleşir. Olaylar arasındaki nedensellik ilişkilerinin gücünü belirtmek için olasılık ifadelerinden yararlanmak da oldukça yerinde bir yaklaşımdır. Şekil 2.1'de gösterildiği gibi, risk unsuru kapsamındaki belirsizlik, nedensellik ve olasılık kavramları kapsamlı olarak ortaya çıkarılmadan, risk analizinden söz edilmemelidir.



Şekil 2.1 : Risk unsuru bileşenleri.

Geleneksel risk belirlemesinde, 'olayın gerçekleşme olasılığı ile yaratacağı etki şiddetinin çarpımı' ele alınmaktadır. Fakat, risk unsurlarının bu basit mantığın aksine, nedenleriyle birlikte ele alınmasını sağlayan kapsamlı bir yaklaşım gerektirdiğini kabul etmek gerekir (O'Hagan ve diğ., 2006). Dolayısıyla, günümüz sektörel iş güvenliği çalışmaları kapsamında gerçekleştirilen analizlerdeki risk skorlama yeterli

bir yaklaşım değildir. Risk analizi yaparken, olayların nedensel ilişki içinde bulunduğu diğer olaylar da dikkate alınarak, ilişkisel olarak incelenmesi sağlanmalıdır.

Geleneksel yaklaşımın aksine, risk analizi için literatürde çeşitli analiz yöntemleri bulunmaktadır. Her yöntemin farklı avantaj ve kısıtları olup her problemin kapsamına, amacına ve kaynak verilerine uygun risk analiz yöntemleri de geliştirilmeye devam etmektedir. Literatürde kullanılan temel risk analiz yöntemleri aşağıdaki gibi sunulabilir:

En temel risk analizlerinden biri olan Hata Ağacı Analizi, belli bir istenmeyen olayın, nedenleriyle birlikte kapsamlı olarak ortaya çıkarılması için tercih edilir. Çünkü hata ağacı, kazaların ya da olayların meydana gelmesindeki sıralı olayları sistematik olarak gösteren grafiksel bir anlatım aracıdır (Hyun ve diğ., 2015). Hata Ağacı analizi ile uygun risk azaltma ya da önleme stratejilerinin geliştirilebilmesi için, risk unsurlarının açıklayıcı bir şekilde tanımlanabilmesi sağlanır. Kazalara sebep olan tüm olay birleşim kümelerinin kritiklik seviyeleri ile birlikte ortaya çıkarılmasında oldukça işlevseldir. Riski oluşturan temelleri, nicel değerlendirmelerle ortaya çıkardığı önem seviyeleriyle birlikte tespit ederek, önleyici stratejiler geliştirmek için önemli çıktılar sunar. Bu yöntemi kullanarak literatürde ele alınmış pek çok çalışma bulunmaktadır. Zhang ve diğ. (2014) yeryüzü madenlerinde taşıma kamyonlarıyla ilişkili ölümcül sonuçları olmuş belirli kazaların en sık karşılaşılan kaza sebeplerinin ortaya çıkarılması için bu yöntemi kullanmışlardır. Chen ve diğ. (2015) bir haliç içinde meydana gelen üç denizcilik kazasının ayrıntılı incelenebilmesine dair çalışma yapmışlardır. Yazdi ve diğ. (2017) de sıvı depolama tank arızalarının nedenlerini Hata Ağacı Analizi yöntemi ile araştırmışlardır. Senol ve diğ. (2015) kimyasal kargo kontaminasyonlarını incelemişler ve kazaların kök sebeplerini Hata Ağacı Analizi ile kapsamlı bir şekilde ortaya çıkarmışlardır. Benzer şekilde, Yuhua ve Datao (2005) gaz ve petrol boru hatlarındaki kaçakları ele almışlar, Wang ve diğ. (2013) ise, ham petrol tanklarında yaşanan yangın ve patlama kazalarını Hata Ağacı Analizi yönteminden yararlanarak incelemişlerdir.

Olay Ağacı Analizi de risk incelemelerinde temel nedenlerin ve etkilerinin belirlenmesinde kullanılan bir diğer tekniktir. Hataların nasıl gerçekleştiğine dair çeşitli olay sıralamaları sunar ve her olay kümesi ile ilişkili hata olasılıklarını ele alarak, tümevarım yöntemiyle Hata Ağacı Analizi ile aynı amaca hizmet eder. Fakat, olay ağaçları, olaylara dair domino etkisinin grafiksel bir gösterimi olarak

yorumlanabilir. ‘Eğer bu olay olursa, sonrasında ne olur?’ şeklindeki senaryolaştırılmış spesifik sorulara verilen cevaplarla yapılandırılır (Haimes, 2009). Dolayısıyla olay ağaçları ile olayların çeşitli olası çıktıları araştırılabilir (Shahriar ve diğ., 2012). Olay ağaçları, hata ağaçlarından farklı olarak, senaryolarında olayların hata durumları ile birlikte başarı durumlarını da ele alır (Kevorkian, 2016).

Risk incelemelerinde kullanılan bir diğer tümevarım yöntemi de Hata Türü ve Etki Analizi (Failure Mode and Effect Analysis-FMEA) yöntemidir. Ele alınan sistem içindeki faaliyetler ve bu faaliyetler kapsamında meydana gelebilecek hatalar ele alınır. Risk değerlendirmesi, hataların türleri, hataların sebepleri, olasılıkları ve sisteme olan etkileri (şiddetleri) ve tespit edilebilirlikleri ile ilişkili parametrelerin belirlenmesiyle yapılır (Zarei ve diğ., 2017; Sharma, 2016). İlgili parametreler, karmaşık istatistiksel metotlara ihtiyaç duymadan, katılımcılar aracılığıyla genellikle likert ölçeği kullanarak değerlendirilir (Giannakis ve Papadopoulos, 2016).

Diğer klasik bir risk değerlendirme metodu olan Hata Türü Etkisi ve Kritiklik Analizi (Failure Modes Effects and Criticality Analysis-FMECA) ise, ilk olarak Amerika’da askeri amaçlarla kullanılmıştır. Bir tümevarım yöntemi olup, belirli bir hatanın olası tüm etki kombinasyonlarını ele alır ve hata türlerinin kritikliklerinin belirlenmesi için olasılık analizi sunar (Kabir, 2017).

Papyon Analizi (Bow-tie) de risk analizlerinde bir kazanın önlenmesini ya da şiddetinin azaltılmasını sağlayacak eylem alternatiflerinin var olması ve tanımlanabilmesi durumunda kullanılır. Önleyici eylemlerin kaza şiddeti üzerindeki etkileri ele alınarak risk değerlendirmesi yapılır (Zarei ve diğ., 2017; Shahriar ve diğ., 2012). Diğer bir deyişle, sistem içindeki risk azaltıcı faaliyetlerin değerlendirilmesi sunulur. Papyon Analizi, Hata Ağacı ile Olay Ağacı analiz yöntemlerini birleştirerek ele alınan ortak istenmeyen üst-olayı, kritik olay olarak isimlendirir. Klasik bir papyon analizi, girdi olaylarının olasılıklarını ya da olasılık dağılım fonksiyonlarını tanımlar ve “Hata Ağacı Analizi”ni kullanarak, kritik olay olarak adlandırılan istenmeyen üst-olaya dair farklı senaryolar altında olasılık değerlendirmesi yapar. Daha sonra bu olasılık değeri, olay ağacı içindeki farklı olay önleyici eylem senaryolarına doğru, her bir şiddet senaryosu olasılığına göre aktarılarak, analiz içindeki istenmeyen olayın çeşitli varsayımlar altındaki, etki şiddetinin yansımaları incelenir (Shahriar ve diğ., 2012).

Hata Ağacı ve Olay Ağacı Analizi ile Papyon diyagramları gibi geleneksel risk analiz yöntemleri her ne kadar risk unsurlarının belirlenmesini sağlasa da riskin ele alındığı konu içindeki değişkenliklerini yakalayamadığı için, riski dinamik olarak modelleyemez (Zarei ve diğ., 2017; Kalantarnia ve diğ., 2009). Bununla birlikte statik temelli ele alınan risk analizlerinde yalnızca büyük çaptaki olaylar ele alındığı için, küçük ölçekli kazalar ya da kıyısından dönülen olumsuzluklar da çoğunlukla ihmal edilerek risk analizinin kapsamlı ve gerçeğe uygun yapılmasının sağlanamadığı gözlenir (Kalantarnia ve diğ., 2009).

İfade edildiği gibi, Hata Ağacı Analizi, Olay Ağacı Analizi, Hata Türü ve Etki Analizi, Hata Türü Etkisi ve Kritiklik Analizi ve Papyon Analizi gibi yöntemlerin risk analizindeki nedensel, belirsizlik içeren ve olasılıksal ayrıntıları kapsamlı olarak ele almadıkları görülmektedir. Dolayısıyla, bu tez çalışmasında, literatürdeki pek çok yöntemin içermediği ve risk unsurunun Şekil 2.1'de de gösterilen nedensellik, belirsizlik ve olasılık bileşenlerine ayrıntılı yer verilmiştir.

2.1 Risk Analizinde Nedensellik ve Belirsizlik

Nedensellik ve olasılık kavramları kapsamlı risk analizlerinin temel iki bileşenidir. Nedensel çıkarımlar yapabilmek için resmi-kabul görmüş, nedensel bir yapı olarak tanımlanan (Holyoak ve Morrison, 2005) ve tez çalışmasında kullanılan yöntem olan Bayes ağları, tam olarak bu iki bileşen üzerine kuruludur. Dolayısıyla, öncelikle nedensellik kavramını ve ilişkili olduğu belirsizlik kavramlarından bahsetmek yerinde olacaktır.

Nedensellik, Aristo'dan, Hume ve Kant'a kadar önde gelen felsefecilerin, geçmişten bugüne araştırma alanı olmuştur. Felsefe ve mantıktan gelen köklü bir geleneğe sahip olan nedensellik, bazı öncül bilgilerden çıkarım yapılması sürecine vurgu yapar (Holyoak ve Morrison, 2005).

Nedensellik olaylara dair tahminde bulunmanın, açıklama yapmanın ya da çıkarım yapmanın temelini oluşturur. Olay akışlarında ileriye doğru nedensellik sorgulamak, olay soyunun devamındaki olayı ya da değişkeni tahmin etmek olarak nitelendirilirken, geriye doğru nedensellik sorgulamak ise olayın nedenini yani soyunun köklerini sorgulamak, diğer bir deyişle çıkarımlamak (abduction) olarak nitelendirilir. Bir olayın geçmişine ya da sebebine yönelik sorgulama yapılıyorken,

olayın ortaya çıkmasına dair birden fazla neden olabilir. Eğer olaya dair nedenlerden biri, net olarak tespit edilmişse, bu durum, diğer nedenlerin gerçekleşme olasılığına dair "açıklama yapma" imkânı yaratacaktır (Lee ve Lee, 2006). Bu tür nedensellik çıkarımları psikoloji, bilişsel bilim, felsefe ve bilgisayar gibi çeşitli perspektiflerden ele alınmaktadır (Holyoak ve Morrison, 2005).

Risk analizi incelemelerinde de olayların meydana gelmesinde etkili olan, nedensel ilişkide bulunduğu olayların sorgulaması yapılır. İstenmeyen bir olayın meydana gelmesine neden olan olaylar ve olayların birbirleri ile aralarındaki ilişkiler ele alınır. Dolayısıyla, kapsamlı bir risk analizi, risk unsurlarını yaratan temel ve ara olaylar ve aralarındaki nedensel ilişkilerin ortaya çıkarılmasını gerektirir.

Olaylar arasındaki nedenselliğin ortaya çıkarılmasında belirsizlik unsuru ile karşılaşılır. Uygulamalı bilim ve mühendislik kapsamında, gözlemler yoluyla kesinlik elde edilirken, belirsizlik de gözlemler yoluyla ortadan kaldırılır. Bu yüzden belirsizlik, gözlemlerin sonuçları ile ilişkilidir. Belirsizlik muğlaklıktan ayrı ifade edilir. Muğlaklık kelimenin anlamına dair dilsel ifadelerin toplanması ile ortadan kaldırılabilirken, belirsizliğin ortadan kaldırılabilmesi için verilerin ya da gözlemlerin netleştirilmesine ihtiyaç duyulur. Belirsizlik içindeki kesin olmayan değerlerin sayısallaştırma çalışmaları için, belirsizliğin olasılık gibi matematiksel gösterimlerle desteklenmesi gerekmektedir (Cooke ve Goossens, 2000).

Olaylar arasındaki ilişkiler kesinlik içerisinde netleştirilemiyorsa, diğer bir deyişle, nedensellik ilişkileri net bir şekilde gözlemlenebilir ya da kanıtlanabilir değilse, var olan belirsizliğin üzerinden nedenselliği çıkarımlayabilmek için olasılık kavramı ele alınır. Dolayısıyla risk analizinde ele alınan olaylar arasındaki ilişkileri gösteren nedenselliğin gücünün ortaya çıkartılmasında olasılık kavramı kullanılır.

2.2 Risk Analizinde Olasılık Kavramları ve Bayes Teoremi

Risk, belirsizlikten doğar, belirsizlik de olasılık kavramı ile tanımlanmaya çalışılır. Dolayısıyla, risk araştırmaları için, "olasılıksal risk analizi" ifadesini kullanmak da mümkündür (Landquist ve diğ., 2017; Khakzad ve diğ., 2013; Lee ve Lee, 2006).

Bir düğüm olarak gösterilmiş aşağıdaki kümenin (Şekil 2.2) bir olayı temsil ettiğini varsayalım. Bu olayın meydana gelmesi ya da gelmemesi konusunda, herhangi bir gözlem ya da kanıt yoksa, olayın belirsizlik içinde olduğu söylenir. Bu belirsizliğe dair

bir takım olasılıksal tanımlamalar yapmak için, olasılık temel aksiyomlarından yararlanılır.



Şekil 2.2 : Bir olayın grafiksel gösterimi.

Olasılık Temel Aksiyomları:

- Olayın meydana gelme olasılığı 0 ile 1 arasındadır. Olasılık değerinin 1 olması, olayın mutlaka meydana geleceğini, 0 olması asla meydana gelmeyeceğini belirtir. 0 ile 1 arasında bir değer alması ise olayın meydana gelmesi konusundaki belirsizlik ihtimalini temsil eder. İlgili olayın olasılıksal ifadesi denklem 2.1'de gösterildiği gibidir:

$$0 \leq P(olay) \leq 1 \tag{2.1}$$

- Olay binomial bir olaysa, diğer bir deyişle olayın yalnızca meydana gelmesi ya da gelmemesi durumu söz konusuysa, bu iki durumun gerçekleşme olasılıkları toplamı mutlaka 1'dir. Olasılıksal ifadesi denklem 2.2'de gösterildiği gibidir:

$$P(olayın_olması) + P(olayın_olmaması) = 1 \tag{2.2}$$

- İlgili olayın meydana gelişi ile ilgili açıklama yapabilmek için farklı bir olayı kullanabiliyorsak, bu iki olayın $P(Olay1 \cup Olay2)$ olarak gösterilen bütünsel olarak meydana gelme olasılığı küme birleşim kuralı ile ifade edilir. Olayların tekil olarak meydana gelme olasılıkları toplamından, bir arada meydana gelme olasılıklarının (etkileşimlerinin) çıkartılmasıyla hesaplanan küme birleşim olasılığı denklem 2.3'te gösterildiği gibidir:

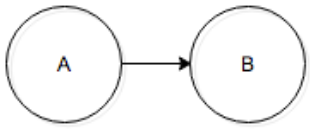
$$P(Olay1 \cup Olay2) = P(Olay1) + P(Olay2) - P(Olay1 \cap Olay2) \tag{2.3}$$

"Olay 1" ve "Olay 2" nin meydana gelmeleri konusunda, birbirleri ile herhangi bir ilişkileri yoksa, bu iki olay bağımsız kabul edilir ve $P(Olay1 \cap Olay2)$ ile gösterilen iki olayın bir arada meydana gelme olasılıkları "0", diğer bir deyişle "imkânsız" varsayılır. Böylelikle ilgili olasılıkların bir arada meydana gelmesinin olasılıksal gösterimi, denklem 2.4'te gösterildiği gibi olacaktır:

$$P(Olay1 \cup Olay2) = P(Olay1) + P(Olay2) \tag{2.4}$$

Temel olasılık aksiyomları, olasılıksal risk analizinde önemli noktalardır. Bir olaya dair belirsizlik, olayla ilgili edinilebilecek kanıtlar ya da gözlemler yoluyla azaltılabilir. Çünkü kanıtlar ya da gözlemler, meydana gelen ya da meydana gelmesi beklenen olay hakkında kesinlik içerisinde ya da belli bir olasılık dahilinde, tahmin yürütülmesini sağlayacaktır. İlgili olayın meydana gelişi konusunda izlenen bir gözlem, diğer bir deyişle olayın nedeni ya da tetikleyicisi olarak değerlendirebileceğimiz başka bir olay varsa, bu iki olayın birbirleriyle olan ilişkisi incelenerek, bilinmeyen olaylara dair çıkarım yapılmasını sağlayacaktır.

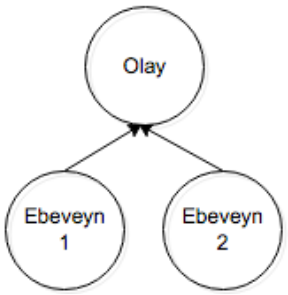
Olayın meydana gelmesinin nedeni olarak gözlemlediğimiz tetikleyiciyi A düğümü-olayı, ortaya çıkan olayı da B düğümü-olayı olarak nitelendirirsek, A ve B olayları arasındaki nedensellik ilişkisini grafiksel olarak Şekil 2.3'teki gibi gösterebiliriz. A olayına ebeveyn düğümü, B olayına çocuk düğümü de denebilir.



Şekil 2.3 : Nedensel ilişki içindeki iki olay.

Bir olayın meydana gelmesinde birden fazla olayın etkili olması da söz konusu olabilir. Örneğin trafiğin sıkışık olmasının sebebi, 'yol üzerinde bir kaza meydana gelmiş olması' ile birlikte, 'yol üzerinde çalışma yapılıyor olması' da olabilir. Şekil 2.4'te gösterilen ağda çocuk düğüm olan olayın meydana gelmesine neden olan iki ebeveyn düğüm olarak da gösterilebilen trafiğin sıkışıklığını ifade eden olay ağı görülmektedir. Bu ağa göre, bu ebeveynlerin ayrı ayrı ya da aynı anda meydana gelerek, bu olay düğümünün meydana gelmesine dair bir etkilerinin olduğu varsayılır. Aralarında doğrudan bağ olmayan ve birbirlerinden koşullu olarak bağımsız olan "Ebeveyn-1" ve "Ebeveyn-2" düğümlerinin "Olay" düğümünün meydana gelme nedenleri olduğu söylenebilir.

Olayların nedensellik ilişkileri ile bir arada ifade edilmesini grafiksel gösterimlerle destekleyen Bayes ağlarında hangi koşullarda olayların birbirini etkilediğini ya da hangi koşullarda etkilemediğini incelemek mümkündür.



Şekil 2.4 : İki nedenli bir olayın grafiksel gösterimi.

Bayes Teorisi, ön bilgilere sahip olduğumuz kesin olaylara dair düşüncelerimize ve bu olayla ilişkili başka olaylar da oluyorsa, şartlı olasılıklara dayanarak, düşüncelerimizin ilişkili olarak değişmesine odaklanır (Garvey ve diğ., 2015). Diğer bir deyişle Bayes Teorisi, olaylara dair koşullu inceleme yapılmasını sağlar.

B düğümünün gerçekleşmesinin, A düğümünün gerçekleşme şartına bağlı olduğu, Şekil 2.3'te gösterilmektedir. Bu iki düğüm arasındaki nedensellik ilişkisi için,

- "B düğümünün gerçekleşme nedeni A düğümüdür" ya da
- "B düğümü, A düğümünün bir etkisidir"

ifadelerini kullanmak mümkündür.

B düğümü, A düğümüne bağlı olarak ortaya çıkmasına rağmen, bu her A düğümü için geçerli olmayabilir. Diğer bir deyişle, her A olayı, B olayının gerçekleşmesine neden olmuyor olabilir. Bu durum tam olarak "şartlı olasılık" kavramı ile ifade edilir. Bayes ağlarının nicel analiz bölümü şartlı olasılık varsayımlarına dayanır (Bobbio ve diğ., 2001). A düğümünün gerçekleşmiş olması halinde B düğümünün meydana gelme şartlı olasılığı olarak ifade edilen, B olayının A olayına bağlı şartlı olasılığı denklem 2.5'te gösterildiği gibi ifade edilir:

$$P(B|A) \tag{2.5}$$

Nedenden sonuca doğru yapılan sorgulamalarda kullanılan bu şartlı olasılık, A ve B düğümünün bir arada meydana gelme olasılığının, A düğümünün, B düğümü ile ilişkili ya da ilişkisiz her koşulda meydana gelme olasılığına oranı olarak hesaplanır ve olasılıksal olarak denklem 2.6'da görüldüğü gibi ifade edilir:

$$P(B|A) = \frac{P(A,B)}{P(A)} \tag{2.6}$$

‘A düğümünün gerçekleşmiş olması halinde B düğümünün meydana gelme’ şartlı olasılık sorgusunun, tam tersini yapmak da mümkündür. Sonucu bilinen bir olayın nedenini tahmin etmek için kullanılan bu geriye doğru sorgulama, ‘B düğümü meydana gelmişse, bunun A düğümü sebepli olma olasılığı’ olarak ifade edilir ve $P(A|B)$ olasılıksal ifadesiyle denklem 2.7’de görüldüğü gibi gösterilir.

$$P(A|B) = \frac{P(A,B)}{P(B)} \tag{2.7}$$

Birbiri ile neden sonuç ilişkisi içinde bulunan A ve B olayının, bir arada meydana gelme olasılığını gösteren $P(A,B)$ ifadesi, iki yönlü şartlı olasılık sorgulamalarının her ikisinde de ortaktır. Dolayısıyla çarpım kuralı ile A ve B’nin bileşik olasılık eşitliği, denklem 2.8’deki gibi gösterilebilir.

$$P(A,B) = P(A|B) * P(B) = P(B|A) * P(A) \tag{2.8}$$

Böylelikle, olasılık tanımından ve çarpım kuralından yararlanarak, Bayes Teorisi’ni açıklayan, şartlı olarak birbirine bağımlı olan iki olayla ilgili olarak, denklem 2.9’daki formülasyona ulaşılır:

$$P(B|A) = \frac{P(A|B) * P(B)}{P(A)} \tag{2.9}$$

$P(A)$ ve $P(B)$, herhangi bir ön gözlem içermediği için, A ve B olaylarının marjinal-öncül olasılıklarını ifade eder ve olaylar hakkındaki orijinal inanışımızı oluştururlar. $P(B|A)$, ancak A olayı şartıyla oluşan B olayının şartlı olasılığını sunar ve B olayı hakkında şartlı olasılığı kullanarak tahminleme yapmamızı sağlar. $P(A|B)$ ifadesi de B olayının, A olayından kaynaklanma olasılığını yani A olayının tersine olasılığını verir. Sonuçtan nedene yönelik yapılabilen bu geriye doğru sorgulamalar sayesinde, Bayes Teorisi, kimi zaman tersine olasılık olarak da adlandırılır (Press, 2003). Tersine olasılıklar olayların hangi sebepten gerçekleşmiş olabileceğine dair sağlıklı çıkarımlara ulaşılmasını sağlar.

Dolayısıyla $P(A)$ ve $P(B)$, A ve B düğümleri hakkındaki öncül ve orijinal inanışımızken, $P(A|B)$ ve $P(B|A)$ güncellenen inanışımızdır. Bayes Teorisi, öncül deneyimlerden elde edilen bir öğrenme kuralı olarak düşünülebilir (Press, 2003). Bu

ileriye yönelik ve geriye yönelik sorgulamalar arasındaki ilişkiyi ilk açıklayan istatistikçi ‘Thomas Bayes’dir.

Şekil 2.3’teki A ve B olaylarına dair, olasılık değerleri denklem 2.10’daki gibi kabul edilirse, nedensel ilişki içindeki bu iki olayın birbirine bağlı ilişkisel güç değerlerini açıklayan Bayes Teoresi’ne yönelik çıkarımlar aşağıdaki gibi olacaktır:

$$\begin{aligned} P(A) &= 0.3 \\ P(B) &= 0.5 \\ P(B|A) &= 0.7 \end{aligned} \tag{2.10}$$

- A olayının marjinal olasılığı, 0.30; B olayının marjinal olasılığı, 0.50 ve A olayının olması halinde B olayının şartlı olma olasılığı ise 0.70’tir.
- 100 günün 30 gününde A olayı gözleniyorsa, 100 günün 50 gününde B olayı gözlenir.
- A olayının 10 kere meydana gelmesi halinde, B olayının 7 kez meydana geldiği anlaşılmaktadır.
- Her A olayı meydana geldiğinde, B olayı kesinlikle meydana gelmez.
- A olayının B olayı üzerindeki etkisi mutlak denebilecek kadar güçlü değildir ama, A olayının B olayı üzerindeki etkisi kesinlikle zayıf değildir.
- Her A olayı, %70 oranla B olayının meydana gelmesine neden olur.
- A olayının öncül olasılığı ve B olayı üzerindeki etkisi bilindiği takdirde, A ve B olayının "bileşik olasılık"ını denklem 2.11’de görüldüğü gibi belirlemek mümkündür. 100 günün 21 gününde A ve B olayları birlikte gözlenir. Diğer bir deyişle, 79 gün içinde ya sadece A olayı vardır ya sadece B olayı vardır ya da her iki olay da yoktur.

$$P(A,B) = P(B|A) * P(A) = 0.7 * 0.3 = 0.21 \tag{2.11}$$

- B olayının, A olayı sebepli olma olasılığını, diğer bir deyişle, A olayının tersine olasılığı denklem 2.12’de görüldüğü gibi belirlenebilir. B olayının gözlendiği 100 günün 42’sinde A olayının da gözlenmesi beklenir.

$$P(A|B) = \frac{P(B|A) * P(A)}{P(B)} = \frac{0.7 * 0.3}{0.5} = 0.42 \quad (2.12)$$

- B olayının var olduğu kesin biliniyorsa, B olayının meydana gelmesinde, A olayının payı %42'dir. Yani, B olayının gözlendiği 100 günün 42 tanesinde, A olayı da gözlenmiştir. Diğer 58 adet B olayı, A olayından bağımsız olarak meydana gelmiştir.

Bayes Teorisi iki olay üzerinden anlatılmaktadır. Aralarındaki ilişkilerin dikkate alınması gereken çoklu olayların olması halinde zincir kuralından yararlanılır. İki olayın bileşik olasılığına Bayes Teorisi ve çarpım kuralı aracılığıyla ulaşılırken, ikiden fazla olay için bu durum zincir kuralı ile genişletilerek denklem 2.13'te görüldüğü gibi kullanılır hale getirilir. Zincir kuralına göre, bir değişkenin olasılığı, şartlı verildiği diğer pek çok olay koşuluna bağlıdır. Örneğin, x_1, x_2 ve x_3 olaylarının bileşik olasılığını, $x_1$in $x_2$ve x_3 olaylarına bağlı olasılığı, x_2 nin x_3 olayına bağlı olasılığı ve x_3 ün marjinal olasılığı vermektedir.

$$P(x_1,x_2) = P(x_1|x_2) * P(x_2)$$

$$P(x_1,x_2,x_3) = P(x_1|x_2,x_3) * P(x_2|x_3) * P(x_3)$$

$$P(x_1,x_2,x_3,x_4) = P(x_1|x_2,x_3,x_4) * P(x_2|x_3,x_4) * P(x_3|x_4) * P(x_4) \quad (2.13)$$

…

$$P(x_1,x_2,x_3,x_4,...x_m) = P(x_1|x_2,...,x_m) * P(x_2|x_3,...,x_m) * P(x_3|x_4,...,x_m) * ..... * P(x_m)$$

$$P(x_1,...,x_m) = \prod_{i=m} (x_i|x_{i-1},....,x_i)$$

2.3 Uzman Yargıları ile Risk Analizi

Riskle analizi yapılırken, riske neden olan olaylar ve aralarındaki nedensel ilişkilerin belirlenebilmesi için, olaylarla ilişkili geçmiş verilere ihtiyaç duyulur. Geçmiş verilerin istatistiksel olarak anlamlı kabul edilebilecek çoklukta olması ile ilişkilerin gücüne dair olasılıksal veriler de çıkarımlanabilir. Ancak, değişkenlerin ve değişkenler arasındaki ilişkilerin belirlenmesi için geçmişe yönelik verilerin yetersizliği durumunda, ilgili belirlemeler uzman yargıları ile yapılır. Uzman yargılarının bilimsel güvenilirliği sorgulansa da asıl konu uzman yargılarının çıkarımlanması ve elde

edilmesi için gereken zorlu uğraştır. Ne olursa olsun, veri eksikliği sebebiyle, riskle ilişkili olayları yapılandırmak ve analiz etmek için herhangi bir girişimde bulunmadan karar almaktansa, uzman yargılarıyla yapılan risk analiz sonuçlarının göz önüne alınarak karar vermek kesinlikle daha makuldür (Nordgård ve Sand, 2010). Dolayısıyla, geçmişe dönük bilginin elde edilemediği ya da yeni bilgi elde etmenin maliyetli olduğu durumlarda uzman yargılarını kullanmak kabul edilebilir bir yaklaşımdır.

Uzman yargıları ile çalışırken, elde edilen verilerin bilimselliğini sağlamak için uzman yargı çıkarımları süreçleri boyunca izlenmesi gereken bir takım rasyonellik prensipleri vardır. Çalışma kapsamında, bu rasyonel prensipler, uzman yargılarının kullanımına dair çekincelerin kaynağı olan olası yanlılık durumları (bias) ve Bayes ağlarının hesaplama parametreleri olan olasılık değerlerinin uzman yargıları ile çıkarımlanması konuları, kapsamlı bir şekilde ele alınmıştır.

2.3.1 Uzman yargıları

Uzman yargıları, bilim dünyasında, gittikçe, bilimsel dataların bir çeşidi olarak görülmekte ve üzerlerinde işlem yapabilmek için metotlar geliştirilmeye devam edilmektedir (Cooke ve Goossens, 2000). Uzman yargıları, Bayes ağları yapılandırması için de temel veri kaynağı olup, deneysel ya da geçmiş verilerin eksikliğinde de ağ ilişkilerinin parametreleştirilmesinde kullanılır (Zhang ve diğ., 2018).

Uzman yargıları, doğru yöntemlerle çıkarımlanması ve kullanılması halinde oldukça yerinde bir bilgi kaynağıdır. Fakat uzman yargıları üzerine rasyonel bir uzlaşının olmaması ciddi bir şüphe yaratmaktadır. Uzman yargılarının uygun metodolojik bir yapı altında kullanılmaması halinde, rasyonel fikir birliğine varılamaması kesindir. Cooke (1991), rasyonel fikir birliği oluşturabilmek için, yapılandırılmış uzman yargılama tekniği uygulamaları sunmuştur.

2.3.1.1 Uzman yargılarında bilimsel prensipler

Uzman yargılarının bilimsel kabul edilebilirliğinde rasyonel fikir birliği sağlanması için izlenmesi gereken bir takım bilimsel prensipler vardır. Bunlar hesap verebilirlik, yeniden üretilebilirlik, deneysel kontrol, nötrlük ve dürüstlüktür (Cooke, 1991; Cooke ve Goossens, 2000).

Hesap verebilirlik

Bütün datalar, uzman bilgileri ve tüm işleme araçları, çalışmada açık bir şekilde sunulmalıdır. Karar verme süreçlerinde, izlenebilirliğin sağlanması, verilerin kalitesini ve güvenilirliği arttırır. Uzmanlarla ilişkili bilgilerin sağlanması konusunda gerekirse ısrar edilmelidir. Görüş sunan kişilerin ya da kurumların isimleri verilmeli ve verilerin izlenebilirliği sağlanarak, kaynaklar açık bir şekilde belirtilmelidir. Çalışmalarda yorumcuların kimlikleri ve ifadeleri, muhtemel dezavantajlardan daha üstün gelmeli ve bu durum açık bir şekilde ifade edilmelidir.

Yeniden üretilebilirlik

Uzman bilgilerine dair tüm detaylar, toplanan veriler ve sonuçların hesaplanması raporlanmalı ve tüm hesaplamalar gerekirse hakemler tarafından yeniden üretilebilir olmalıdır. Bu gerekliliğe bilimsel araştırmalar için mutabık kalınmıştır.

Deneysel kontrol

Uzman fikirleri eğer mümkünse en azından seçilmiş uygulamalar için deneysel kontrole elverişli olmalıdır. Teoriler asla kesin olarak doğrulanamaz, fakat teori yanlışsa, gözlemlerle karşıtlığı keşfedilebilir olmalıdır. Aynı şekilde metodoloji, uzman düşüncelerinin deneysel kontrolünü, en azından prensipte yapıyor olmalıdır. Yani uzman olasılık fikirlerinin gözlemler ölçeğinde değerlendirmek mümkün olmalıdır. Deneysel kontrol, öznel olasılık düşüncelerinin kullanımı konusunda, ‘bir lisans ehliyeti verme’ gibi açıklanamaz. Cooke ve Goossens (2000)’nin de belirttiği gibi, bu deneysel kontrol prensibinin sağlanması bazen zorlu olmaktadır. Bu durumlarda öncelikle irdelenmesi gereken, 'ilgili problemin uzman yargılarına hangi şartlarda danışılmaya değer bir problem olduğunun belirlenmesi’ dir. Örneğin, hava boşluğunda ışığın hızını belirlemek için uzmanlara başvurmaya gerek yoktur, çünkü bu değer fiziksel olarak ölçülebilir ve öncesinde de ölçülmüştür. Sorgulanan uzmanların her biri aynı cevabı verecektir. Ya da Tanrı'nın varlığını belirlemek için uzman kararına danışılamaz, çünkü bunun operatif anlamda uzmanı yoktur. İlgili alanda bilimsel uzmanlık varsa, alanla ilişkili sorun uzman değerlendirmesine açıktır. Fakat bu durum, ilgilenilen konuya dair teori ve ölçüm imkanlarının bulunmasıyla birlikte ilgili niceliklerin pratikte ölçülememesini gerektirir. Örneğin, bir maddenin insanlar için toksikliği prensip olarak ölçülebilir, ancak belli nedenlerden ötürü ölçülemez. Bir toksik maddenin 50 km'lik yayılımını ölçmek neredeyse imkânsız olmasına rağmen, bu dağılımı 1 km’lik bir alan içinde ölçmek mümkündür. Eğer bir

problem uzman yargı problemiyse, mutlaka ampirik kontrolü sağlamak için prensipte kullanılabilecek ilgili deneyleri olacaktır.

Nötrlük

Uzman fikirlerinin çıkarımlanması, değerlendirilmesi ve birleştirilmesi için kullanılan metot, uzmanları ön yargılardan uzak tutmalı, onların gerçek düşüncelerini sunmalarına yönelik teşvik etmelidir (Cooke, 1991).

Dürüstlük

Uzmanlar değerlendirmelerinin sonuçları konusunda öncesinde yargılanmamalıdır. Gözlem sürecinin amacı için ve çıkarım süresince uzmanlara eşit davranılmalıdır. Çoğu Bayes modelinde analist uzmanların güvenilirliklerini değerlendirme ihtiyacı duyar. Bunun nasıl yapılabileceğinin bir rehberi yoktur.

2.3.1.2 Uzman yargılarında sezgisel hata

Çalışma kapsamında, risk analizinin uzman yargıları ile yapılabileceği ve ele alınan risk unsurunun oluşmasında etkili olayların, aralarındaki nedensel ve olasılıksal bilgileri ile birlikte ortaya çıkarılmasında yine uzman yargılarının kullanılabileceği ifade edilir. Ancak çıkarım süreçlerinde dikkat edilmesi gereken bilimsel prensiplere ek olarak, her zaman dikkat edilmesi gereken sezgisel hatalar da vardır. Bu hatalara, "bilişsel hata" da denmektedir (Spetzler ve von Holstein, 1975). Özellikle, olasılık çıkarımları pek çok hata içerebilir ve kolaylıkla fark edilmeyebilir (Van der Gaag ve diğ., 2002). Çünkü, insanlardan olasılık değerlendirmesi gibi karmaşık yargılamalar yapmaları istendiğinde, insanlar refleks olarak sıklıkla sezgisel değerlendirme (göz kararı-yaklaşık olarak) yaparlar (Renooij, 2001). Fakat bilinmelidir ki, bazı durumlarda, olasılık çıkarımı yapılması için sunulan olaylar, insan beyninde kolayca canlandırılamayabilir ve bu durum yanlış yargılamalara sebep olabilir. Yanlış yargılarda bulunmaya sebep olabilecek sezgisellikleri, aşağıdaki gibi ifade etmek mümkündür:

Ulaşılabilirlik (Availability)

Uzman, bir olayın gerçekleşme olasılığı hakkında değerlendirmeyi, sezgisel olarak olayın kendisinin aklına gelen ilk halini baz alarak yapar. Böylelikle daha sık meydana gelmiş olaylara dair daha fazla sezgisel düşünce içerisine girmesi mümkündür. Bir olayın gerçekleşmesinin olasılığı yüksekse, uzman bunu kolaylıkla hatırlayabilir. Çoğunlukla bu sezgisellik oldukça işlevseldir, ama belli bir olayın meydana gelişi ile

ilgili sıklık indikatörü bazen yanıltıcı da olabilmektedir. Örneğin uçak kazaları, araba kazalarından daha çarpıcı haberler olarak lanse edildiklerinden, insanlar uçak kazalarının meydana gelme olasılığının, araba kazalarından daha fazla olduğunu düşünüp, araba kazalarının olasılığını küçümseyebilmektedirler (Renooij, 2001). Karar verme sürecinde bu yanlış sezgiselliğin engellenmesi için uzmanlara ilişkili sezgisellikle hakkında bilgilendirme yapılması ve uzmanın çıkarımladığı olasılıksal ifadeyi farklı sunumları ile tekrar yapması sağlanabilir.

İnsanlar çıkarımlarını hafızalarındaki benzer olaylarla ilişkilendirerek yaparlar ve dolayısıyla bazı durumlar diğerlerinden daha kolay hayal edilebileceği için yanıltıcı korelasyonları fark etmeyebilirler. Örneğin eğer iki olay sıklıkla, birlikte meydana geliyorsa, olaylar arasında güçlü bir bağ olduğuna dair yanlış bir yargı algısı ortaya çıkabilir (Renooij, 2001). Ayrıca, uzmanlar hiç şahit olunmayan olaylara dair düşük ihtimal, şahit olunan olaylar için de daha yüksek olasılık verme meyillidir. Yargılarına güvenen uzmanlar çıkarımlarında uç olasılık değerlerine yönelirken, yargılama konusunda yeterli güvene sahip olmayan uzmanlar da olasılık değerlendirmelerinde uç değerlerden uzaklaşırlar (Renooij, 2001). Bu yanlış sezgisel durumların ortadan kaldırılması, analistin uzmanın çıkarımlama süreci üzerinde kurduğu hakimiyetle sağlanabilir. Analist, uzmana yönelteceği çapraz sorgulamalarla, uzman çıkarımlarının kontrolünü yapabilir.

Sabitlenmiş nokta hatası (Anchoring bias)

Bir konu hakkında ve belli şartlar altında, değişken değerlere dair değerlendirme yapılırken, öncül bir nokta seçilip, ilişkili noktaya göre sezgisel kararlar verilir. Eğer bu ilişkili noktaya dair yapılan değerlendirme hatalıysa, bu noktaya kıyasla belirlenen diğer değerlendirmeler de hatalı olacaktır. Bazen de bir olayın diğerini temsil etmesi durumunda ortaya çıkan sezgisel değerlendirme için, iki olayın benzerliği kullanılarak sezgisel bir görüş sunulur. Fakat bu algılama hatalı yapılmışsa, ortaya bir sunuş hatası çıkacaktır. Bu hatanın kaynağı da değerlendirme için baz alınan noktanın hatalı değerlendirilmesi ya da yanlış noktanın baz alınmasıdır.

Örneğin, yeni dönem için yapılacak satış tahmininde, pek çok kişi son periyottaki satış durumunu düşünerek çıkarım yapar (Renooij, 2001). Son periyottaki değer, hatalı bir sabit nokta sunuyor olabilir. Dolayısıyla geçmiş veriler ve deneyimler göz önüne alınarak bir gelecek çıkarımı yapılıyorsa, baz alınan nokta dikkatlice belirlenmelidir. Bu yanlış sezgiselliğin ortadan kaldırılması için, öncelikle uzmanın hatalı sezgisellik

konusunda bilgilendirilmesi sağlanmalıdır. Ardından da uzmana ilgili soruyu farklı şekillerde iletmek ve benzer cevaplara ait soruların karşılaştırmalı sorgulanmasını sağlamak, çıkarımın sağlamasının yapılmasına imkân sağlayacaktır.

Motivasyon hatası (Motivational bias)

İnsanları olasılık değerlendirmesi ya da herhangi bir tahmin konusunda teşvik etmek, onların doğrudan gerçek düşüncelerini iletmesini sağlamayabilir. Uzmanların çıkarımları, onların kişisel çıkarlarından ve içinde bulundukları koşullardan mutlaka etkilenir. Örneğin, eğer bir uzman iş yerindeki kalıcılığının, mevcut projedeki başarısına bağlı olduğuna inanıyorsa, konu ile ilgili yargılarını belirsizlik içinde kalmadan kendinden emin ve rahat bir şekilde sunması gerektiğine inanabilir (Renooij, 2001). Benzer şekilde, bir satış temsilcisinin prim alabilme gayreti ile satış tahminlerini düşük sunması ile bir hava durumu tahmincisinin, hava durumunu iyi beklerken kötü çıkmasındansa, kötü beklerken iyi çıkmasının daha kolay tolere edilebilecek bir durum olduğunun bilinciyle tahmin sunması motivasyonel önyargılara örnektir.

İnsanların, kendi başarı şanslarıyla ilgili çıkarımlarında ortalamadan daha iyiymiş gibi bir yanlı olma durumu söz konusu iken; kayıp, hastalık ya da aksilik konusunda yaptıkları çıkarımların ortalamadan daha düşük değerlemelerde bulundukları gözlenebilir. Bu duruma "iyimser önyargı" da denir (O'Hagan ve diğ., 2006). Bu tür önyargıların, uzmana bu değerlendirmenin bir taahhüt olmadığı ve gerçeğin olabildiğince doğru değerlendirilmesi gerekliliğinin ifade edilmesiyle, üstesinden gelinebilecek yanılmalar olduğu düşünülebilir.

Kontrol sezgiselliği

İnsanlar, kontrol imkâna sahip oldukları konularda, kişisel düşüncelerini ya da etkilerini yaptıkları değerlendirmelere yansıtma eğilimindedirler. Örneğin, insanlar piyango biletini kendileri seçmeleri halinde, rastgele verilmesinden daha fazla kazanma şansına sahip olduklarını düşünürler; oysa ki, iki biletin de kazanma ihtimali aynıdır. Kontrol illüzyonu, olasılıkların abartılmasına sebep olur.

Sonuç olarak, uzman değerlendirmesi çeşitli yanlı ifadeler içerebilir. En sık karşılaşılan yanlı değerlendirme eğilimi "abartma eğilimi (overestimation)" ve "aşırı güvenli değerlendirme eğilimi (overconfidence)" dir. Abartma tutumunda uzman, olasılık değerlemesini gerçek olasılık değerinden fazla yapar. Aşırı güvenli tutumda ise, yüksek ihtimalli olayların olasılıkları yükseltilip, düşük ihtimalli olayların

olasılıklarının ise daha da düşürülmesi söz konusudur (Van der Gaag ve diğ., 2002). Uzmanların değerlendirmelerindeki bilişsel yanılmalar, olasılık değerlendirmelerinin sezgisel yapılıyor olmasındandır.

Çıkarım sürecini yapan analistin, uzmanın tutumunu, olasılığı bilindik sorgular üzerinden belirlemesi ve çıkarım sürecini gerektiği ölçüde revize etmesi gerekmektedir. Çünkü, uzman yargısı ve gözlenen değerlerin karşılaştırmalı değerlendirilmesiyle, uzman tutumunu belirlemek mümkündür. Abartma eğilimi tutumunun belirgin özelliği kişinin tüm değerleri olduğundan fazla söylemesi, aşırı güvenli olma tutumunun belirgin özelliği ise, düşük olasılığa sahip olayların olasılığının daha da küçültülüp, büyük olasılığa sahip olayların olasılıklarının da daha da yükseltilmesidir.

Sezgisel hatalara dair farkındalık, bireylerin tutumlarını anlamaları konusunda farkındalık yaratarak, daha iyi olasılık değerlendirmeleri yapabilmelerini sağlar. Kişinin tutumu belirlendikten sonra, hesaplamalarında ilgili düzeltmeyi yapması kişiler tarafından öğrenilebilir ve geliştirilebilir bir durumdur. Uzmanların, çıkarım yapmalarına dair sebepler hakkında bilgilendirilmelerinin sağlanması ve kişilere farklı çıkarım metotları uygulanması, bilişsel yanlılıkların azalmasını sağlayabilirken (Renooij, 2001), uzmanın sübjektif olasılık değerlendirme performansı analist ile aralarındaki uyuma bağlı olarak da geliştirilebilir.

Ayrıca bilinmelidir ki, geleceğe dair yapılan olasılık yargılarında kişileri hafızalarının yanıltması gibi bir durum söz konusu olmaz. Bu yüzden de geleceğe dair tahminlemede bulunurken, aşırı güven yanılgısı, geçmiş olaylara dair yapılan çıkarımlara göre çok daha azdır (Carlson, 1993). Bu yüzden sorgulaması yapılan mevcut şartların uzmanca net bir şekilde anlaşılması sağlanıp, olasılık belirlemesine yönelik sezgisel değerlendirmesini bu şartlara odaklanarak yapması sağlanmalıdır.

Uzman yargılarının çıkarımı sürecinde uzman düşüncelerinin sezgisel hatalardan etkilenmemesi için çoklu uzmanla çalışmak, her ne kadar çalışma için gereken eforu arttıracak olsa da hata riskini minimize edecektir (Constantinou ve diğ., 2016).

2.3.1.3 Uzman yargıları ile olasılık çıkarımları

Belirli bir olaya dair bir olasılık çıkarımlanmasında uzman yargılarından yararlanılacağı takdirde, literatürde kullanılan birtakım yöntemler vardır. Belirlenmeye çalışılan ‘değer ve ilgili olasılık’ ikililerinde, uzmana yöneltilen bilgiye

ve sorgulanan unsura göre olasılık çözümleme metotları aşağıdaki gibi sınıflandırılır (Spetzler ve von Holstein, 1975; Abbas ve diğ., 2008):

1. Sabit olasılık değeri için değişken değeri belirleme metodu (FP metodu / V metodu)
2. Sabit değişken için olasılık belirleme metodu (FV metodu / P metodu)
3. İki yöntemin bir arada kullanılması (PV metodu)

Olasılık çözümlemesinde sabit olasılık metodu kullanılması halinde, verilen bir olasılık değerine karşılık gelen değer sorgulanır. Örneğin, değeri yükselişte olan bir hisse senedinin önümüzdeki ay için %100 kesinlikle hangi oranda kazandıracağı ya da bir şey kazandırmasının %0 ihtimal olduğu oranın tahmin edilmesi gibi üst ve alt limitlerin belirlenmesinde kullanılabilir. Bunun yanında, hiç beklenmeyen (%0) kazandırma olasılığı ile mutlaka gerçekleşeceği beklenen (%100) kazandırma ihtimalinin arasındaki çeşitli kümülatif olasılıklarla beklenen kazandırma değerlerinin de sorgulanması sağlanabilir. Diğer bir deyişle, sabit olasılık metodu ile bir değişkenin alabileceği değerlere dair olasılık dağılımı elde edilebilir.

p_i kümülatif olasılık değerlerini göstermek üzere $i = 1,2,..n$ olarak sorgulanacak bir dizi olasılık değerleri belirlenir ve bu olasılık değerlerine karşılık gelen v_i değerleri çıkarımlanır.

Sorular, $P(p \leq p_i) = v_i$ belirlemelerini sağlayacak olup, uzmana 'X değişkeninin değeri, %30 ihtimalle hangi değerden daha düşüktür?' şeklinde kümülatif sorgulamalara uygun olarak yöneltilebilir (Abbas ve diğ., 2008).

Sabit olasılık çıkarım metodunda kullanılan belli bir olasılık için bir olayın değerini hesaplama ihtiyacı, aslında sıkça karşılaşılan bir durum değildir. Pazar günü sıcaklığının, bütün yaz günleri sıcaklıklarının %90'ını ifade edebilecek sıcaklığın ne olduğu, bir öğrencinin girdiği sınavda %15'lik dilime girmesi için puanının kaç olması gerektiği ya da eve iş çıkışı %90 ihtimalle saat kaçta varabileceği gibi sorular karmaşıktır. Çünkü, cevaplar hakkında daha fazla bilgiye ihtiyaç duyulur (Abbas ve diğ., 2008).

Bu metodun kullanımı için bir sonraki bölüm olan olasılık çıkarımlama araçları bölümünde anlatılan 'olasılık çarkı'ndan yararlanılabilir. Sabit olasılık metodu için kümülatif dağılımın seçilmiş en sık yüzdelik dilimleri medyan değer olan "0.5" ve

çeyreklik dilimler olan “0.25 ve 0.75” tir. Ayrıca analist görüşüne göre, “0.1, 0.5, 0.9”, “0.10, 0.25, 0.5, 0.75, 0.9” ya da “0.01, 0.10, 0.25, 0.5, 0.75, 0.9, 0.99” dilimleri de kullanılabilir (Abbas ve diğ., 2008). Morris ve diğ. (2014)’lerine göre, uzmana doğrudan yalnızca bir değer sormaktansa, olasılık dağılımı oluşturacak kadar çok çıkarımlama yapma imkânı sunmak, uzmanın parametre hakkında muallakta olduğu ifadelerin farkına varmasını ve daha tutarlı çıkarımlar yapmasını da sağlayabilir.

Sabit olasılık tekniğine dayanarak, “aralık tekniği” ile değer sorgulama yapmak da mümkündür. Değerlerin olduğu bir skala ikiye bölünerek, hangi tarafın gerçekleşme ihtimalinin daha fazla olduğu sorgulanır. Aralık tekniği bir aralığı bir kerede 3 ya da daha fazla parçaya ayırarak da uygulanır. Ayırma noktası, olma ihtimali yüksek olan bölgenin alanına doğru, alanı küçültecek şekilde kaydırılarak devam edilir. Kişi iki bölge hakkında kararsız kalana kadar bu işlem sürer. Bütün olası çıktıları kapsayan bir aralıkla başlamak ve daha sonra bunu alt aralıklara ayırmak öncelikle medyanı verir, daha sonrasında çeyrek değerleri verir. Aralık tekniğini çeyrek dilimler de bulunduktan sonra devam ettirmek anlamlı değildir. Çünkü her soru bir önceki cevaba bağlıdır ve eğer başlangıçtaki medyan değeri hatalı belirlenmişse, diğer değerler de ona bağlı olarak hatalı belirlenecektir (Spetzler ve von Holstein, 1975). Bu hata ‘uzman yargılarında sezgisel hatalar’ bölümünde anlatılan ‘sabitlenmiş nokta hatası’na örnek olarak kabul edilebilir.

Sürekli değişkeni temsil eden olasılık dağılımlarının elde edilmesi, belirsizlik altında karar vermede önemli bir adımdır ve literatürde önemli bir yeri vardır. Bunun yanında, olaylarla ilişkili sorular uzmana, azalan ya da artan sıra gibi belli bir sistematik içinde yöneltilirse, uzmanın çıkarım performansının artmasını ve daha güvenilir bilgi edinilmeyi sağlar (Abbas ve diğ., 2008). Fakat, uzmanlara yöneltilen uç yüzdelik dilimlere dair sorularda, uzmanların çıkarım performanslarının zayıf olduğu da görülmüştür (Alpert ve Raiffa, 1982). Buna rağmen düşük olasılıklar için pokerdeki en büyük elin gelme olasılığının 1/65000 olması gibi tam olarak olasılığının çıkarımlandığı olaylarla ilişkili sorgulamalar yapılması kolaylık sağlar (Spetzler ve von Holstein, 1975).

Olasılık çözümlemesi için sabit değişken metodunun kullanılması halinde ise, değişkenin sabit değeri kullanılarak, ilişkili değerin gerçekleşme olasılığı belirlenir ve böylece değerlere ait kümülatif olasılıklar sorgulanır. Sabit değerli değişken ve karşılık

geldiğine inanılan olasılık değeri, uygun bir çıkarım yöntemi kullanılarak uygun olan olasılık değerine karar verilene kadar sorgulanır.

v_i sorgulanan değerleri göstermek üzere $i = 1,2,..n$ olarak bir dizi farklı değişken değerleri belirlenir ve bu değerlere karşılık gelen p_i olasılıklar çıkarımlanır.

Sorular, $P(V \leq v_i) = p_i$ belirlemelerini sağlayacak olup, uzmanlara 'X ürünü fiyatının 3 ay içinde 100 TL olma olasılığı nedir?' şeklinde yöneltilebilir.

Sabit değişken çıkarım metodunda, sabitlenmiş değer seçerken, uzman tarafından doğru şekilde algılanabilecek, tanımlanabilecek ve değerlendirilebilecek bir değer sunulması önerilir. Örneğin, geçen yıl kendisinin yönettiği süreçlerin sonucundaki performans verilerine yönelik soru sorulması, uzmanın kolaylıkla fikir yürütebilmesini sağlayacaktır. Bu yılki üretim çıktısının geçen yılki değer olan V değerinden yüksek ya da düşük olmasına dair olasılık çıkarımını daha rahat yapabilmesi mümkündür. Daha sonra, geçen yılın ya da bu yılın değerinin, diğerinden fazla olma ihtimalinin kaç kat daha güçlü olduğu sorulabilir. Bu yöntem Spetzler ve von Holstein (1975) tarafından "ilişkili benzerlik (relative likelihoods)" olarak ifade edilmektedir.

Sabit değişken çıkarım metodunun farklı açılardan, az ama tutarlı bir üstünlüğü vardır. Sabit değişken sorgulama yöntemi sabit olasılık metodundan biraz daha hızlı çıkarım sağlar ve çoğu çalışma için tercih edilen yöntemdir. Değer karşılığında sorgulanan olasılık, evrensel bir şekilde 0-1 arasında "imkânsız" ve "kesinlikle" tanımlarıyla sınırlanmıştır. Ayrıca değere göre olasılık tanımlamaları, insanların daha sık karşılaştığı ve daha aşina olduğu bir durumdur. Çünkü, gelecekteki belli olayların önceden belirlenmiş eşikleri aşması olasılığına ilişkin (kendimize ya da başkalarına) sorular yöneltebiliriz. Örneğin, sıcaklığın belli derecelerin üstüne çıkması, belli derecelerin altına inmesi, gün içinde ya da 3 saat içerisinde yağmurun yağıp yağmaması, yolda-trafikte tıkanıklık olup-olmaması durumu, yağmurlu havada saat 7'den önce evde olma ihtimali gibi sorular günlük hayatta pek çok kişinin aşina olduğu sorulardır. Bu yüzden, sabit değişkene göre olasılık cevaplaması ve çıkarımlanmasının daha kolay olduğu düşünülür (Abbas ve diğ., 2008).

Olasılık çıkarımı için sabit olasılık ve sabit değişken metotlarının her ikisinin birden kullanıldığı PV metodunda**,** kişi ilgili değer ve olasılığını bir arada kendi belirler. Bu yöntem için, doğrudan cevap verme yöntemi ile çıkarımlanabilecek grafik yöntemi kullanılır. Kişinin ya yoğunluk fonksiyonu çizmesini ya kümülatif dağılım sunmasını

ya da değer ve olasılık çiftlerine dair seri durumları sunmasını gerektirir. Diğer bir yaklaşım ise, uzmanlara bir dizi yoğunluk fonksiyonu gösterip, yargılarına en yakın olanının seçilmesinin istenmesidir. Yoğunluk fonksiyonu ve değişken parametreler bir dizi dağılımdan (beta dağılım gibi) kolaylıkla seçilir (Spetzler ve von Holstein, 1975). Dolayısıyla değer aralığı ve olasılık değerleri seçimi için uzmanı özgür bırakan bu yöntem, olasılık çıkarımı ve ilgili değerlendirme alanı konusunda uzman olan kişilere uygulanmalıdır.

Olasılık dağılımı için kullanılan "sorgulama yöntemleri" olan sabit değişken ve sabit olasılık ile ilgili ifadelerin ortaya çıkarılması, bir dizi sorgu içerecektir. Her çözümleme prosedüründe, kişiler değer ya da olasılık olmak üzere sorgulanan unsura yönelik ya doğrudan yanıtlar sunar ya da bazı alternatifler ya da bahisler arasından seçim yaparak, dolaylı olarak yargısal çıkarımlarda bulunur. Bahisler ve sorgulamalar kişinin değer ve olasılık eslemesinde kararsız kalmasına kadar değer değiştirmesi yapılarak sürdürülür (Spetzler ve von Holstein, 1975). Uzman yargıları ile olasılık çıkarımlarının dolaylı ya da doğrudan yapılmasında kullanılan çeşitli olasılık çıkarımlama araçları vardır. Analist, problemin yapısına ve uzmanların yatkınlığına göre uygun çıkarım aracının seçiminden ya da çıkarım sürecine uygun çıkarımlama aracının oluşturulmasından sorumludur.

2.3.2 Uzman yargıları ile olasılık çıkarımlama araçları

Bir değişkenin incelenen bir davranışına dair veriler ulaşılabilir olmadığında bilinmeyen parametrelere dair belirsizlikleri aşabilmek için, uzman yargıları ve olasılık dağılımı çıkarımları kullanılır (Morris ve diğ., 2014). Bu durumda değişkenlere dair olasılık dağılımları için sübjektif olasılık bilgilerinden yararlanılır. Aslında pek çok alanla ilgili istatistik hesaplamalarda sübjektif olasılıklardan yararlanılmaktadır. Örneğin, Lewis (1979) çalışmalarında, reaktör güvenlik olasılık hesaplamaları için, sübjektif olasılıklar kullanarak uygun ve kabul edilebilir çıktılar elde etmişlerdir. Klinik psikolojide hastaların intihara teşebbüs ihtimallerinin araştırılması (MacLeod ve Tarbuck, 1994), yoğun bakım birimlerindeki hastaların hayatta kalma olasılıklarının çıkarımı (Winkler ve Poses, 1993), hastanın sahip olduğu belirtilere göre obsesif kompulsif hastalığı derecesinin tahmin edilmesi (Woods ve diğ., 2002) ve nükleer atık etkilerine dair olasılık çıkarımı (Lee ve Lee, 2006; De Wispelare ve diğ., 1995) çalışmaları farklı alanlardan örnek olarak verilebilirler.

Sübjektif olasılıklar, kişisel bilgi ve deneyim üzerine kuruludur ve bilgi düzeyinin, inanç derecesinin ve rahatlık durumunun numerik bir ölçüsüdür (Kaplan ve Garrick, 1981).

Değer bazlı olasılık çıkarımı ya da olasılık bazlı değer sorgulama yöntemlerinin kullanımı için kullanılan olasılık çıkarım araçlarının bir kısmı analist yöneticiliğinde sürdürülürken, bazıları da uzmanın kendisi tarafından yönetilebilmektedir. Uzmanın düşünsel yanıtlarını sunabilmesi için görsel ya da grafiksel olasılık çıkarım araçları kullanılarak dolaylı çıkarım yöntemleri kullanılabilmektedir. Bunun yanında literatürde sıklıkla kullanılan yöntemlerden biri de doğrudan çıkarım yöntemidir. Hiçbir aracı kullanılmaz ve analistin uzmana yönelttiği sorulara doğrudan verilen cevaplarla çıkarımlar yapılır. Doğrudan çıkarım yöntemi, uzman ve analist iş birliğinde her çalışma için farklı şekilde sunum kazanabilir. Önemli olan çıkarım sürecinin gerçekçi veriler elde edilecek şekilde sürdürülebilmesi için süreç bileşenlerine uygun yöntemin kullanılmasıdır.

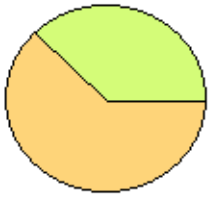
2.3.2.1 Olasılık çarkı

Olasılık çıkarımı için en eski ve en popüler grafiksel araçtır. Olasılık çarkı, kesikli olasılık dağılımlarını yönlendirilebilir bir yuvarlak diyagram içinde gösterir (Wang ve Druzdzel, 2000). Olasılıklar bir disk etrafında radyal olarak sunulur ve uzmanlar tarafından, olasılık çıkarımı için uygulaması başarılı bir yöntem olarak görülür (O'Hagan ve diğ., 2006).

Çarkıfeleğe benzeyen ve ayarlanabilir iki farklı bölümden oluşur. Ayarlanabilir iki farklı renkteki bölümden ve sabit bir merkezdeki işaretçiden oluşur. Çark döndüğü zaman, sabit işaretçi bölgelerden birini gösterecek şekilde durur. Çarkın belli renkteki bölümde durma ihtimali, bölümün alanının tüm çarkın alanına oranı seklinde hesaplanır. Sorgulanan olayın gerçekleşme olasılık değerinin, uzmanın çarkın belli bir renkteki bölümünde durma ihtimali ile eşit olarak algılanmasına kadar ayarlamalar yapılarak, süreç tekrarlanır (Renooij, 2001; Spetzler ve von Hostein, 1975; Merkhofer, 1987). Parça-bütün karşılaştırmaları ile yapılan oran hesabı aracılığıyla olasılık çıkarımları yapılır. Olasılık çarkı azalma algoritması ile işler ve algoritmanın durup, bir azalmanın daha gerçekleşmeyeceği şekilde kişinin iki durum arasında kararsız kalmasına kadar sürer (Abbas ve diğ., 2008). Şekil 2.5'te örnek bir olasılık çarkı görülmektedir.

Olasılık çarkında, bölgelerin hangi olasılık değerlerini ifade ettiklerini anlayabilmek için üç yol vardır: (O'Hagan ve diğ., 2006):

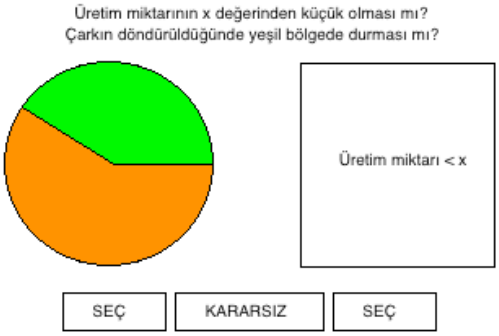
- Çarktaki bölgenin çevresinin ölçeklendirilmesi,
- Bölgenin çember üzerindeki çevresi ile çemberin çevresinin oranlanması ve
- Bölgenin alanının, dairenin alanına oranlanması.



Şekil 2.5 : Olasılık çarkı.

Olasılık çarkı kişilerden hem dolaylı yoldan (Spetzler ve von Hostein, 1975; Renooij, 2001; O'Hagan ve diğ., 2006) hem de doğrudan (Shephard ve Kirkwood, 1994; O'Hagan ve diğ., 2006) cevaplar alarak olasılık çözümlemesi yapılmasına olanak verir. Örneğin, Shephard ve Kirkwood (1994) çalışmalarında, doğrudan çıkarımlı olasılık çarkı yöntemini kullanmış ve uzmana sırayla %99, %1, %25, %75 ve medyan değerlerini sormuştur. Olasılık çarkı ile dolaylı çıkarım için de bahis metodolojisinden yararlanılır. Çark üzerindeki numerik etiketler kaldırılır ve uzmanın, olayın gerçekleşme ihtimalinin mi ya da işaretçinin çarkta gösterilen bölmede durması ihtimalinin üzerinden mi bahse gireceği sorgulanır. Uzman gerçekleşecek olay için bahse girmeye devam ediyorsa, çark üzerindeki alan büyütülmeye devam edilir ve uzmanın hangi seçeneğin gerçekleşme ihtimalinin daha kuvvetli olabileceğine dair bir karar veremeyeceği noktaya gelene kadar çark üzerindeki bölmenin büyüklüğü değiştirilerek süreç devam eder (O'Hagan ve diğ., 2006). Örneğin, Şekil 2.6'da görüldüğü gibi, kişiye eğer üretim miktarı x değerinin altında kalmasının mı çarkın yeşil bölgede durmasının mı daha mümkün olduğu sorulur ve eğer doğru bilirse 100 dolar kazanacağı söylenebilir. Bu bir sabit değişken metodudur ve kişinin olasılık belirlemesi beklenir. Böylelikle analist, uzmanın seçimlerinden üretimin x değerinin altında kalma olasılığını çıkarımlar. Çark aynı zamanda sabit olasılık metodu ile değişken değerinin sorgulanması yoluyla da kullanılabilir. Ama bu metot biraz daha etkisiz kalmaktadır. Sebebi de sabit değişken metodunda, tek bir olay için belirsizlik hesaplanmaya çalışılırken, sabit olasılık metodunda bir dizi olay sorgulanarak,

belirlenen çoklu olasılık değerleri için hangi değişken değerlerinin daha uygun olacağı sorgulanır (Spetzler ve von Holstein, 1975).



Şekil 2.6 : Olasılık çarkı çıkarım ekranı, Abbas ve diğ. (2008)'den uyarlanmıştır.

Olasılık çarkı uygulaması

Olasılık çarkı kullanımını sağlayan Abbas ve diğ. (2008), belli bir tarihte belli bir bölgenin en yüksek sıcaklığının kaç derece olacağına dair bir çıkarım çalışması yapmışlardır. Çıkarımları için sabit olasılık metodunun kullanılmış ve önce %50 olasılığı ifade eden merkez değerin, daha sonra da %5, %25, %75 ve %95 olasılık değerlerine karşılık gelen sıcaklıklar sorgulamıştır. Kişiye sıcaklığın 25º C dereceden düşük olma ihtimalinin mi çark döndürüldüğünde işaretçinin, çark üzerindeki %50 ihtimali gösteren bölgede durma olasılığının mı yüksek olduğu sorulur. Kişi çarkı seçerse sıcaklığın belli ki 25º C dereceden düşük olma ihtimalini güçlü görmemektedir. Olasılık değeri sabit kalacağı için sıcaklık değeri 30º C dereceye ayarlanır ve sorgulama süreci tekrarlanır. Eğer kişi bu defa olasılık çarkını seçmezse, sıcaklığın 30º C dereceden düşük olma ihtimalini daha yüksek görür ve bir sonraki sorgulama için sıcaklık 25º ile 30º C derece arasında farklı bir sıcaklık sorgulaması için uyarlanır. Sabit değer metodu kullanılıyor ise de değişken değer sabitlenir ve kişinin tercihleri olasılık çarkındaki bölgenin ayarlanması ile uygun olasılık değerinin bulunmasıyla sorgulanır.

Olasılık çarkı avantajları

- Olasılık değerleri 0 ve 1 arasındaki bütün değerleri alabilmektedir (sürekli değişken) (Spetzler ve von Holstein, 1975).
- Olasılık çıkarımı risk tutumundan etkilenmez (Renooij, 2001).
- Olasılık çarkı kullanımı, peşin hükümlü olmaya dair hatalı çıkarımları bastırıp, hatta ortadan kaldırabilir (Renooij, 2001).

- Uzmanlara olasılık değerlerinin görselleştirmeleri konusunda yardım eder. Ama bunu kesin olarak gösteren araştırma çalışmaları eksikliği de vardır (Renooij, 2001).

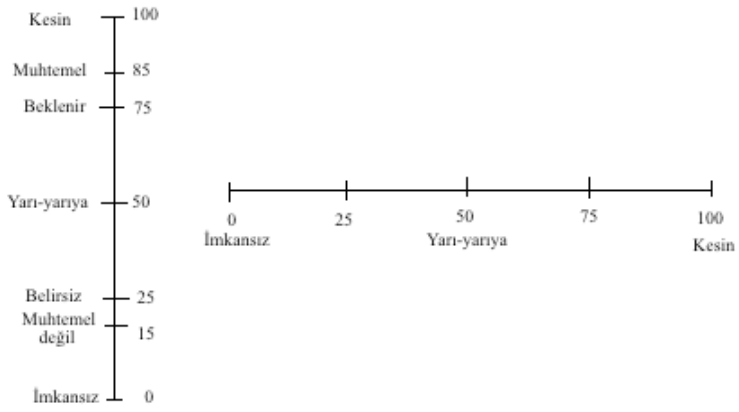
Olasılık çarkı dezavantajları

- Olasılık çarkları oranlar, karşılaştırmalar ve sürekli değişen sorgulamalar içeren karmaşık algısal süreçlere sahiptir. Yuvarlak diyagram, yargı çıkarımları için parça parça değerlendirmeler yapılmasını gerektirdiğinden, oransal algılama zorluğu yaratır. Kişiler sezgisel olarak anlamaları gereken parçanın bütüne olan oranına dair çıkarım yapmayı zor bulsalar da sütun grafiklere göre kişilerin daha iyi performans göstermesine aracı oldukları anlaşılmıştır (Wang ve Druzdzel, 2000). Fakat aynı başarı parçaların birbirlerine göre kıyaslanmalarında geçerli değildir (Wang, 2004; Wang ve Druzdzel, 2000). Sütun grafikler parça kıyaslamalarında daha iyidir.
- Uygulaması, çok zaman harcatır. Yüzlerce ya da binlerce olasılık çıkarımının yapılacağı durumlarda kullanımı uygun değildir (Renooij, 2001).
- Çok parçalı olduğu zaman efektif olmazlar. Bir çark maksimum 5'e bölünmelidir (Wang, 2004).
- Aslında arka planda kırmızı bölgenin yüzdesini hesaplamaya çalışmak, yargılamanın doğrudan yapılıyor olmasına çok yakın bir durumdur (Edwards ve von Winterfeldt, 1986).
- Çok küçük olasılık dilimleri sorgulaması için uygun olmayabilmektedir. Çünkü uzman için küçük bir kırmızı alanı, daha küçük bir kırmızı alandan ayırması çok zor olacaktır. Bu yüzden en uygun sorgulama aralığı 0,1 ve 0,9 aralığındaki olasılık değerleridir (Spetzler ve von Holstein, 1975; Renooij, 2001).
- Sorgulama sürecinin başında pek çok kişi tarafından faydalı ve kolay bulunmasına rağmen, ilerleyen süreçlerde uzmanlar tarafından efektif karşılanmayabilmektedir (Spetzler ve von Holstein, 1975).
- Olasılık çarkı ile başlayan çıkarımlarda süreç ilerledikçe doğrudan cevap moduna dönülebilir (Spetzler ve von Holstein, 1975).

- Eğer bir çark üzerinde çoklu çıkarım yapılıyorsa, toplam olasılık her zaman bire eşit olduğu için, bir bölgede yapılan belirli bir değişiklik, kalan sonuçların olasılığında orantısal değişikliklere yol açar (Wang, 2004).
- Çark üzerinde çoklu çıkarımlar yapılıyorsa, hangi parçanın hangi değişkeni temsil ettiğinin tanıtılmasına yönelik prosedür sunulmasını gerektirir (Wang, 2004).

2.3.2.2 Olasılık ölçeği

Olasılık ölçeği, olasılık belirlemesi yapabilmek için sıklık tabirinde kullanılan sözel ifadeleri ve numerik gösterimleri birleştiren ölçek olarak ifade edilebilir (Van der Gaag ve diğ., 2002). Oldukça sık kullanılan bir tekniktir ve yatay ya da dikey bir çizgi üzerinde çeşitli noktalarla ifade edilir (Renooij, 2001). Şekil 2.7'de olasılık ölçek örnekleri gösterilmiştir. Uzmanlar belli bir olaya dair düşündükleri olasılığı çizgi üzerinde işaretlerler. Ölçeğin ana fikri, uzmanın, değerlendirmesi esnasında değerleri ölçek üzerinde görüp hem sayısal hem görsel düşünebilmesini sağlamaktır. Olasılık ölçekleri genel olarak anlaması ve kullanması kolay ve uzmanların kısa sürede değerlendirme yapmasına imkân sağlayan araçlar olarak bilinir (Van der Gaag ve diğ., 2002). Olasılık çıkarımı için doğrudan cevap modu altında değerlendirilir. Sabit değişken metodu kullanılırken, değerlerin olasılık karşılığını belirlemek için olasılık ölçeği kullanılabilmektedir (Spetzler ve von Holstein, 1975).



Şekil 2.7 : Olasılık ölçekleri, Renooij, (2001) ve Van der Gaag ve diğ. (2002)'den uyarlanmıştır.

Olasılık ölçeği uygulaması

Uzmandan değerlendirilecek her olasılık için ölçek üzerindeki doğru yeri işaretlemesi istenir. İşaretleme esnasında çarpı ya da çizik atması, ölçek üzerindeki belirlemenin

daha net olmasını sağlar. Her olasılık için ayrı bir ölçek kullanılabilir. Ölçeğin temel fikri, uzmanlara değerlendirmelerinde numaralar yerine görsel oranlar ile düşünmelerine imkân yaratmaktır (Renooij, 2001).

Van der Gaag ve diğ. (2002), üzerinde yalnızca 0-50-100 noktalarının olduğu bir olasılık ölçeğinin çalışmaları için uygunsuzluğundan bahsetmişlerdir. Boşlukların yarattığı etkiler (space effect) sebebiyle, çizgi üzerinde estetik bir şekilde işaretleme yapmaya çalışmak da hatalara neden olmuş ve üzerinde yalnızca 0-50-100 noktaları olan olasılık ölçeğinin uzmanlar tarafından etkili bir araç olarak görülmediği belirtilmiştir.

Rockette ve diğ. (1992) çalışmalarında, üzerinde sözel tanımların olduğu 5 noktalı olasılık ölçeği ile %0-%100 arası sürekli numerik olasılık ölçeğinin performans karşılaştırmasını yapmışlardır. İki metot arasında önemli bir fark tespit etmemişlerdir. 5 aralıklı olasılık ölçeği üzerindeki bölümler aşağıdaki gibidir:

- %0-9 / kesinlikle yok,
- %10-39 / muhtemelen yok,
- %40-75 / muhtemelen var,
- %76-89 / büyük olasılıkla var,
- %90-100 / kesinlikle var.

Constantinou ve diğ. (2016) de çalışmalarında, değişkenlerin arasındaki ilişki gücünü belirlemek için aşağıdaki değerlere sahip olasılık ölçeği kullanarak olasılık çıkarımı yapmışlardır.

- 0 – 0,2 / Çok düşük,
- 0,2 – 0,4 / Düşük,
- 0,4 – 0,6 / Orta,
- 0,6 – 0,8 / Yüksek,
- 0,8 – 1 / Çok yüksek.

Van der Gaag ve diğ. (2002) ve Hänninen ve diğ. (2014a) çalışmalarında, olasılık çıkarımlarının 7 sözlü olasılık ifadesine sahip olasılık ölçeği ile çok daha efektif sürdürüldüğü belirtilmektedir. Daha da önemlisi, Renooij (2001)'in önerisi olan her

bir çıkarım için ayrı bir ölçek kullanmaktansa, bir değişkene dair tüm şartlı olasılık değerlendirmelerinin aynı çizgi üzerinde yapılması, uzmanlara değerlendirmelerini karşılaştırma ve doğrulama fırsatı yaratmaktadır (Van der Gaag ve diğ., 2002).

Olasılık ölçeği avantajları

- Olasılıklar için kesin numerik değerler yerine, çizgi üzerinde açık bir şekilde işaretleme yaparak uzmanlara görsel ayarlamalar yapmasına izin vermesinden dolayı, uzmanlar için uygulaması kolay bir çıkarım yöntemidir (Van der Gaag ve diğ., 2002).
- Uygulama kolaylığı ile ilişkili olarak uygulaması da hızlı bir çıkarım metodu olduğu için kullanışlıdır (Renooij, 2001).
- Van der Gaag ve diğ. (2002) çalışmalarında, olasılık ölçeği ile yapılan değerlendirmelerde ölçek üzerindeki işaretlemeler uzmanlara değerlendirmelerini karşılaştırma ve doğrulama imkânı sağladığından, abartma tutumu riskinin azalttığını belirtmişlerdir.

Olasılık ölçeği dezavantajları

- Doğrusal bir ölçek olduğu için çok küçük ve çok büyük olasılıkların çıkarımına izin vermez. Bu problemi logaritmik ölçek kullanımı çözer (Renooij, 2001).
- Olasılık ölçeği kullanılarak yapılan değerlendirmelerin, uzman tarafından yanlı bir şekilde yapılması söz konusu olabilir. Olasılık ölçeğinin ortasını kullanmaya meyilli olmaları anlamına gelen merkez etkisi (centering effect) ve insanların yanıtlarını ölçek üzerinde estetik bir şekilde yansıtma çabası ile ortaya çıkan ve görsel çekiciliğin optimize edilmeye çalışıldığı için yanlış değerlendirmeler sunulmasına sebep olabilen alan etkisi (space effect) sebepli hatalı çıkarımlara sebep olabilmektedir (Renooij, 2001).

2.3.2.3 Kumar ve şans oyunu

Uzmanlar kumar ya da şans oyunu gibi araçlar aracılığıyla, olay olasılıklarına dair sayısal düşüncelerini dolaylı yoldan çıkarımlamak için kullanılırlar. Kumar benzeri araçlar, kişilere kontrollü bir şekilde hazırlanan düzenekle sunulur. Kontrollü düzenek, uzmanı karar verme sürecine dahil edecek iki kumar alternatifinden oluşur (Renooij, 2001). Sunulan alternatifler ile amaç, uzmanın algıladığı ödünleşmeyi arttırmaya çalışarak, uzmana iki piyango arasında seçim yapmasını sağlayacak bir kumar ortamı

sunmaktır (Van der Gaag ve diğ., 2002). Kumar ve piyango gibi araçlar aracılığıyla olasılık çıkarımı yapmak, dolaylı çıkarım metodolojisi sunmaktadır (Renooij, 2001).

Kumar metodolojisinde, olasılık çıkarımı için uzmana yöneltilen alternatifler aşağıdaki gibidir (Van der Gaag ve diğ., 2002; Renooij, 2001):

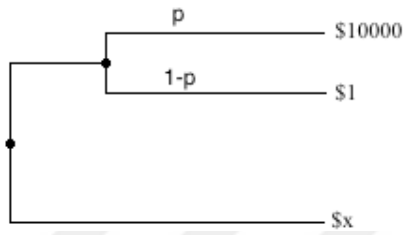
1. Uzmanın, değerlendirilen olayın gerçekleşme olasılığını, diğer bir deyişle kazanma olasılığını belirlemesi,
2. Uzmana seçim için iki alternatif arasında kararsız kalana kadar analist tarafından değiştirilen doğrudan ilişkili miktar ya da fiyat sunulması.

Uzmandan bu yöntemde olasılık değerlendirmesi yapması istenmez. Bahis ya da şans olayını kazanma gibi anlamları olan olaylarla ilgili karmaşık kavramları karşılaştırması istenir. Hangi seçeneğin sunduğu beklenen fayda daha fazla ise, kişi o seçeneği tercih edecektir. Eğer bahis alternatifleri yağmurun yağması ve havaya atılan adil bir zarın 6-6 gelmesi üzerine ise ve kişi yağmurun yağması ihtimalini seçiyorsa, yağmurun yağma olasılığının 36'da 1 değerinden daha fazla olduğunu düşünüyordur. Bahis alternatiflerinin karar ağaçları yardımıyla olasılıkları ve çıktıları ile birlikte grafiksel olarak sunulması da mümkündür (Renooij, 2001).

Kumar seçenekleri ile olasılık çıkarımlamada sıkça karşılaşılan risk tutumları, belirsizlik altında karar vermede etkili olan "beklenti teorisi (prospect teori)" ile açıklanabilir. Kısaca kazanç durumlarında risk karşıtı olunup, kaybetme (zarar) durumlarında ise risk arayışında olunmasıdır. İnsanların düşünceleri farklı unsurlarla şekillenir. Risk ve değere yönelik kişisel algı, faktör ağırlıklarının çoklu etkileri, kararsal karmaşıklıklardan uzak kalma çabası, göze çarpan belirgin kimlikler ve duygular bunların bir kısmıdır. Olasılıkların sübjektif değerlendirilmesi, mesafe ve boyut gibi fiziksel miktarların sübjektif değerlendirilmesine benzemektedir. Yargılar, sezgisel kurallara göre işlenen kısıtlı bilgiler ışığında yapılır. Örneğin, uzaklık ölçümü yaparken eğer görüş kötü ise mesafe fazla hesaplanır. Mesafe yakınsa ve görüş netse, mesafe düşük hesaplanır. Böylelikle, geneli kapsayan ortak bir bilişsel hata söz konusu olur. Bu olası hata, olasılıkların sezgisel çıkarımlanmasında da vardır (Tversky ve Kahneman, 1974). Risk karşıtı olmak, konu kazanç olduğunda 'riske girmeye gerek olmaması inanışı'na sahip olmakken, risk yanlısı olmak da konu kaybetmek olunca kaybetmeme opsiyonunun bulunduğu alternatifin beklenen faydasının daha yüksek olmasıdır. Risk tutumuna göre şekillenen bu durum, belirlenebildiği takdirde ya analist

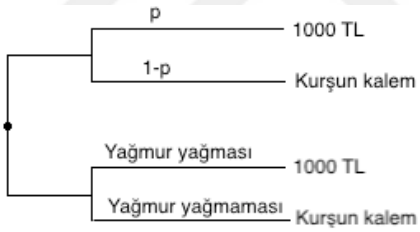
tarafından kalibre edilmelidir ya da uzman seçimi gözden geçirilip, çoklu uzmanla çalışılmaya gayret edilmelidir.

Kesinlik eşdeğeri kumarı (Certainty equivalent gamble): Uzmana, gerçekleşme olasılığı "*p*" sorgulanan bir olayın gerçekleşmesi durumunda, büyük para ödülünün sunulduğu bir kumar metodolojisinde, diğer alternatif için %100 olarak x bir ödül kazanma fırsatı sunulmasıdır. Şekil 2.8'de belirtildiği gibi, alternatifler arasında kararsız kalacağı noktaya kadar değişen x miktarı ile "*p*" olasılığı belirlenmiş olur.



Şekil 2.8 : Kesinlik eşdeğeri kumarı, Renooij (2001)'den uyarlanmıştır.

Şans oyunu eşdeğer kumarı: Uzmana, yağmurun yağıp yapmayacağını tahmin etmesi üzerine, sübjektif olasılık çıkarımı yapabilmesi için Şekil 2.9'da gösterilen iki oyun-kumar alternatifi sunulur.



Şekil 2.9 : Şans-oyunu eşdeğer kumarı.

- Yağmur kumarı:
    - Yağmurun yağması halinde x tutarında para kazanma fırsatı,
    - Yağmurun yağmaması durumunda kurşun kalem kazanması.
- Para kumarı:
    - p olasılığı ile x tutarındaki paranın kişiye sunulması,
    - 1-p olasılığı ile kişinin kurşun kalem kazanması.

Kesinlik eşdeğeri kumarı ve şans oyunu eşdeğer kumarı uygulaması

Kesinlik eşdeğeri kumarında uzman, Şekil 2.8'de görülen, doğrudan teklif edilen x miktarına bakarak, ya ilk bahse girip bilgisi varsa 10 bin doları kazanma cesaretini gösterecek ya da emin değilse x doları almak isteyecektir (Renooij, 2001).

Şans oyunu eşdeğer kumarında, uzmanın ödülü alabilme içgüdüsüyle, iki oyun seçeneğinden hangisini seçeceğine dair kararsız kaldığı p değeri, yağmurun yağmasına dair düşündüğü olasılık değerini sunacaktır. Kararsız kalmasına neden olacak p değerinin tespiti, analist tarafından uzmana tekrar tekrar yöneltilen sorgularla sağlanır. Şans oyunu eşdeğer kumarı, kesinlik eşdeğeri kumarı yöntemine göre, risk tutumundan daha az etkilenmektedir.

Kesinlik eşdeğeri kumarı ve şans oyunu eşdeğer kumarı avantajları

- Oldukça önemli olayların olasılıklarına dair çıkarım yapılacağı zaman başvurulabilecek bir yöntem olan kesinlik eşdeğeri kumarında, uzmandan olay olasılığı için doğrudan olasılık belirlemesi yapması istenmesindense, hayati önem taşıyan unsurlar aracılığıyla sunulan kumar alternatifleri yoluyla, daha etkin bir olasılık çıkarımlama yapılması sağlanabilecektir. Bu avantajın sağlanabilmesi için kumar için sunulan fayda, paradan farklı şeyler olmalıdır.
- Kesinlik eşdeğeri kumarına göre, şans oyunu eşdeğer kumarında yöntem uzmanın bilişsel hatalarını en aza indirir. Dolayısıyla, risk yanlılığı ile ilişkisi daha azdır, çünkü uzmana yöneltilen kumar alternatifleri eşit düzeyde risk içermektedir. Dolayısıyla, çıkarımlanan olasılık değerinin, doğrudan ilgilenilen olasılığı sunduğu düşünülür. Ayrıca, ödül olarak sunulan kumar örnekte de sunulduğu gibi, paradan farklı şeylerle de ifade edilebilir (Renooij, 2001).

Kesinlik eşdeğeri kumarı ve şans oyunu eşdeğer kumarı dezavantajları

- Uzmanın risk yaklaşımından oldukça etkilenmektedir. Risk yanlısı olan insanlar için çıktısı yüksek olduğu için olasılığı düşük olan seçeneğin seçilmesi ihtimali vardır. Risk karşıtı olan insanlar için de çıktının kesin olarak sunulduğu seçeneğin seçilmesi ihtimali hep yüksektir. Uzmanlar 'kesin etki-certainty effect' güdüsü ile kesin olana gitme eğilimlidir (Renooij, 2001).
- Diğer kumar yöntemleri gibi bu yöntemler çok fazla kullanıcı kolaylığı sunan yöntemler değillerdir. Öğrenmesi zordur (Renooij, 2001).
- Olayların nadirlikleri ve etik olmayan durumlarının zihinde canlandırılamaması sebepli, uzmanlar çıkarımlanan unsur ile piyango alternatifleri arasında bir çelişki yaşayabilir. Ör: Hastanın ölme ihtimali

üzerinden ödül kazanma gibi bir kazanç sunan bir bahis sunmak etik olmayacaktır (Van der Gaag ve diğ. 2002).

- Her bir olasılık çıkarımı için çok fazla zaman harcayıcıdırlar. Olasılık ağlarında gerekli binlerce olasılığın değerlendirmesi için çok uygun değillerdir (Renooij, 2001).

2.3.2.4 Rulet yöntemi

Uzman yargıları ile olasılık çıkarımları için kullanılan yöntemlerden biri olan rulet yöntemi, uzmanın sorgulanan değerler için bir arada olasılık ataması yapmasını sağlar. Gore (1987) tarafından önerilmiş ve Johnson ve diğ. (2010) tarafından geliştirilmiş bu yöntem, Morris ve diğ. (2014) tarafından belirsiz değerlerin olasılık dağılımlarını belirlemek üzere oluşturdukları web tabanlı sistem içerisinde kullanılmıştır. Morris ve diğ. (2014)'nin çalışmasında, önceden belirlenmiş gerekli yüzdelik dilimlere karşılık gelen olasılık değerleri doğrudan atanarak belirlenmiş, belirli bir değişken aralığını yansıtan olasılık dağılımına, en küçük kareler prosedürü kullanarak uygun parametrik dağılım tespit edilmiştir. Normal, Student-t, Beta, Gamma, Log normal ve Log student-t olarak belirlenen olasılık dağılımlarından uygun olanı kullanılarak olasılık yoğunluğuna uygun grafikler oluşturulmuştur.

Rulet yöntemi uygulaması

Uzmana m eşit parçalı (bin) bir ağ (grid) sunulur ve farklı olasılık değerleri için ağ üzerindeki diğer eksene n tane çentikle atama yapması istenir. Değerler için atanmış çentiklerin miktarları olasılık dağılımını yansıtır (Morris ve diğ., 2014).

Rulet yöntemi avantajı

Görselliği ile uygulamasının kolay olduğu düşünülebilirken, elde edilen çıkarımlar kolaylıkla bir istatistiksel dağılım denklemine dönüştürülebilmektedir (Morris ve diğ., 2014).

Rulet yöntemi dezavantajı

Doğrudan sorgulama yöntemi ile veri topladığı için, olasılık çıkarımları özellikle sabitlenmiş nokta ve ulaşılabilirlik bilişsel hatalarına maruz kalabilir.

2.3.2.5 Doğrudan sorgulama

Olasılık çıkarımının yapılması için uzmana herhangi bir araç kullanmadan doğrudan sorgulanan unsurların yöneltilmesi ve uzmanın yine hiçbir araç kullanmadan doğrudan

yanıtlarını sunmasıdır. İlgili değişkenin çeşitli olasılıklarla hangi muhtemel değerleri alabileceğine yönelik çıkarımlar yapılır. Sorgulanan olasılık değerleri %50, %25 ve %75'lik dilimler halinde ve %1, %10, %90 ve %99 gibi uç değerlere yönelik olabilir (Solomon, 1982). %50, %25 ve %75 diğer bir deyişle, medyan, üst ve alt dörtte birlik olasılık bilgilerinin tanımlanmasına çeyrek (quartile) metodu, %33 ve %66 değerlerine uygun olarak üçte birlik olasılık tanımlamaları yapılmasına da üçte birlik (tertile) metodu denir (Morris ve diğ., 2014).

Uzmana soruların yöneltilmesinde kullanılabilecek çeşitli yaklaşımlar vardır. Örneğin p(X)=0,20 sorgusu için çeşitli sorgulama yaklaşımları '%20 olasılıkla X değeri kaçtır?' ya da '5'te 1 olasılıkla X değeri ne olur?' şeklinde olabilir. Özellikle 0'a yakın olasılıklar gibi, küçük olasılıklar için kesirli ifadeler daha uygundur. Çünkü, kişiler onda bir, yüzde bir, binde bir ifadelerini; 0,1, 0,01 ve 0,001 ifadelerinden daha net ve kolay algılayabilir (Solomon, 1982). Hangi soruş şeklinin seçileceği uzman ve analist arasındaki çıkarım diyaloğu ile belirlenebilir. Seçilecek olan olasılık sorgulama ifade şekli, kişinin algılamasına dair en aşina olduğu sorgulama şekli olmalıdır (Spetzler ve von Holstein (1975).

O'Hagan ve diğ. (2006)'nin çalışmalarında belirttiği olasılığın sayısal olarak farklı sunuş şekilleri aşağıdaki gibidir:

- Olasılık: X yılı içinde trafik kazasından ölme olasılığı 0.08'dir.
- Yüzde: X yılı içinde trafik kazasından ölme ihtimali %8'dir.
- İlişkili sıklık: X yılında 12 kişiden biri (1000 kişiden 80'i) trafik kazasından ölür.
- Kesir: X yılı içinde trafik kazasından ölme ihtimali 1/12'dir.
- Doğal sıklık: X yılında 56 milyonluk nüfusun, 4,5 milyonu trafik kazasından ölür.

Doğrudan sorgulama yaparken olasılıklara karşılık gelen değer sorgulaması da değerlere karşılık gelecek olasılık sorgulamaları da yapılabilir. Ayrıca, uzmanın 'değer ve karşılık gelen olasılık' ikilisini tamamen kendisinin belirlemesi de sağlanabilir. PV metodu olarak bilinen bu yöntemde, uzmanın sorgulanan değerlere de olasılığa da hâkim olması halinde, bilişsel olarak çıkarım sürecini kontrol etmesi mümkündür.

Uzman, eksenleri değer ve olasılık olan iki boyutlu bir grafik oluşturarak, olasılık çıkarımını yapabilir.

PV metodu altında diğer bir sorgulama yöntemi örneği ise, değişken değerlerinin yüksek, orta ya da düşük gibi sözel ifadelerle belirtilebilmesidir. Sözlü çözümleme olarak anılan bu yöntem için, çözümleme işleminin ilk aşamasında kişinin alışkın olduğu birim miktarlar için 'yüksek-orta-düşük' tanımlamaları yapılır. Bu değerlere karşılık gelen olasılık belirlemeleri yapıldıktan sonra, ilgili tanımlayıcı ifadelerin sayısal ifadeleri çözümlenir. Bu metot, ordinal değerli ve skalanın olmadığı miktarlarla çalışıldığı zaman kullanılır (Spetzler ve von Holstein, 1975).

Uzmana ilgili değer sorgulamalarının doğrudan yöneltildiği bu yöntemde çıkarım performansını arttırıcı, ilgili değerlere yönelik olasılıkların belirtileceği tablolar da oluşturulabilmektedir. Wang (2004) çalışmasında, olasılık çıkarımı için uzmanın çıkarımları görsel olarak tabloda bütün olarak görebileceği ve şartlı olasılık değerlerini atayabileceği, görünümü yönetilebilir bir ara yüz sunmuştur.

Olasılık çıkarımı için doğrudan sorgulama yönteminin kullanılması halinde, çalışmanın konusu, uzmanların olasılık kavramına olan yatkınlığı ile analist ve uzman iletişiminin gücü gibi bileşenlere bağlı olarak, her çalışma için farklı bir çıkarım sunumu ve içeriği oluşturulmasının gerektiği kabul edilmelidir.

2.3.2.6 Delphi

Olasılık çıkarımları metotlarından bir diğeri olan Delphi tekniği, uzmanların çıkarım yaparken, çeşitli sebeplerden dolayı ortaya çıkabilecek hatalı yorumlarını azaltabilmek için kullanılacak tekniklerden biri olarak bilinir (Hänninen ve diğ., 2014a). Doğrudan sorgulama yönteminden farkı, sorgulamaların doğrudan, fakat uzman grubundaki çoklu cevaplara göre dönüşümlü olarak yapılmasıdır.

Delphi yöntemi uygulaması

Delphi tekniğinde, uzmanlar kendi düşüncelerine uygun dağılımı isimsiz bir şekilde belirler ve savunurlar. Çıkarımla ilgili, tüm grup üyelerinin fikirlerine vakıf olduktan sonra, hatalı olduğunu düşündükleri yargılarını düzenleme şansını değerlendirip, bir sonraki fikir bildirme oturumunda güncellenmiş çıkarımlarını belirtebilirler (Hänninen ve diğ., 2014a). Delphi Metodu, tipik olarak 3 ya da 4 oturumdan oluşur. Sorgulanan çıkarımla ilişkili son oturumdaki medyan değeri en iyi tahmin olarak alınır (Cooke, 1991).

Delphi yöntemi avantajı

- Delphi metodunun değeri, bilimselliğinden değil, erişilemeyen belirsiz ve bilinmeyen gelecek konularını ortaya çıkarmak için kullanılan sezgisel bir araç olmasından gelir (Ayyub, 2001).
- Uzmanların sezgisel hatalarını aynı sorgu ile ilişkili diğer görüşleri de baz alarak düzenleyebilme fırsatını bulmaları, az sayıdaki çıkarımlı çalışmalar için önerilebilir.

Delphi yöntemi dezavantajı

- Bilimsel araştırmanın yerine geçmediği de iddia edilir (Ayyub, 2001).
- Her bir çıkarım için her uzmanın yorumunun tek tek tüm gruba sunulması ve tek bir çıkarım için dahi çoklu oturumların yapılması, oldukça zaman harcayıcıdır.

3. BAYES AĞLARI

Risk araştırmalarında süreç, riskin tanımlanması ve sebeplerinin ortaya çıkarılması ile başlar. Ardından en önemli unsurlardan olan riskin sayısallaştırılması gerekir (Haimes, 2009). Bayes ağları ile olayların meydana gelişlerine dair hem nedensel incelemeler hem de riskin sayısallaştırılmasını sağlayan nicel belirlemeler yapılabilmektedir. Dolayısıyla Bayes Ağları Analizi, risk analizi çalışmaları için oldukça yerinde bir araç olmakla birlikte, niteliksel ve niceliksel olarak iki bölümden oluşmaktadır.

Bayes ağlarının niteliksel kısmı, riski oluşturan olaylar ve aralarındaki ilişkilerin belirlendiği yapısal kurulum aşamalarından oluşur. Bayes ağları modellemesi, bir sistemin yeterince tanımlanamaması, sistemin yeterince bilgiye sahip olmaması ya da sistemin bileşenlerinin rassal davranışlarda bulunması sebepli belirsizliğin var olduğu durumlarda, sistem içindeki değişkenler arasındaki ilişkileri tanımlamaya yardımcı olur (Jones ve diğ., 2010). Olaylar arasındaki ilişkiler, nedensellik ve olasılık kavramlarından yararlanılarak belirlenir ve olayların meydana gelişlerine dair kısıtlı miktardaki verilerden güçlü çıkarımlar yapılabilir (Steyvers ve diğ., 2003). Belirsizlik altında etkili olan nedensellik, grafiksel bir çerçeve aracılığıyla sunulur (Wang, 2004). Bayes ağları inanç ağları, olasılıksal ağlar ve nedensel ağlar olarak bilinmesinin yanında, grafiksel model olarak da nitelendirilir (Lee ve Lee, 2006).

Yönlendirilmiş döngüsel olmayan grafiğin yanında, bileşik olasılık dağılımları Bayes ağlarının önemli iki temel unsurlarıdır (Zhang ve diğ., 2014). Birbiri ile ilişkili olayları gösterebilmek ve olayların aralarındaki ilişkileri çözümleyerek kapsamlı risk analizi yapabilmek için en etkili yol olasılık ağlarından yararlanmaktır. “Olasılık ağı”, istatistiksel değişkenlerin ve grafiksel yapı içerisindeki olasılık ilişkilerinin çözümlendiği ve değişenler arasındaki ilişkilerin gücünün de şartlı olasılıklarla gösterildiği matematiksel bir model olarak tanımlanmaktadır (Van der Gaag ve diğ., 2002). Olasılık ağları grafik tabanlı dili sayesinde, nedensel çıkarımları hem bağımlı hem bağımsız ilişkileri beraberinde ele alarak bütünsel olarak gösterir. Mühendislerin ve uzmanların, yüzlerce-binlerce değişkenin yer aldığı karmaşık olasılık ilişkileri

hakkında kolayca bilgi paylaşımında bulunabilmelerini sağlar (Madsen ve Kjærulff, 2013).

Grafiksel gösterim sezgiseldir ve anlaşılması kolaydır, böylece uzmanlar, kullanıcılar ve sistemler arasındaki alan bilgisinin iletişiminde ideal bir araç haline gelir. Bu nedenlerden dolayı, olasılıksal ağların biçimciliği, belirsizlik altında daha güvenilir bilgi çıkarımları yapabilme imkânı sağlayıp, karar verme için gittikçe yaygınlaşan bir bilgi temsili haline gelmektedir (Madsen ve Kjærulff, 2013). Dolayısıyla, Bayes ağlarında, nedenleri ya da sonuçları incelenen olaylar, ilişki içinde bulunduğu diğer olaylarla birlikte ele alınıp, olayların meydana gelişlerine dair sistematik inceleme yapılmasına imkân sağlanır. Sistematik bir muhakeme süreci modeli oluşturduğundan, Bayes ağlarının kullanımı ile etkileri konusunda hiçbir deney yapılmamış yeni bir uygulamaya ait soruların bile cevaplanmasında yardımcı olunabilir (Lee ve Lee, 2006). Sonuç olarak, Bayes Ağları, bilgi mühendisliği yaklaşımından yararlanarak oldukça faydalı analizler yapılmasını sağlar (Wang, 2004)

Bayes ağlarının niceliksel kısmı da analizin parametreleri olan, değişkenlerin durumsal gerçekleşme olasılıklarını belirten olasılık dağılımlarını ve analizlerini sunar. Değişkenlerin aralarındaki ilişkilere göre bağımlılık ve duyarlılık analizleri gibi pek çok kapsamlı analizin gerçekleştirilmesine imkân sağlar (Madsen ve Kjærulff, 2013).

Çalışmanın temel amaçlarından olan, istenmeyen olayların ve sebeplerinin belirlenmesine yönelik çıktılar sunabilecek pek çok risk analiz yöntemi bulunmaktadır. Yöntemlerin, analiz yeteneklerindeki üstünlükleri ve eksikliklerine göre bu çalışmada Bayes Ağları Analizi'nin çalışma nitel ve nicel amaçlarına uygun olduğuna karar verilmiştir. Fakat diğer yöntemlerin de kısmi olarak çalışmada belirtilen risk unsurlarının ortaya çıkarılmasında faydalı olabilecekleri göz ardı edilmemiştir.

Hata Ağacı Analizi'nin istenmeyen olayların nitel analizinin yapılmasında uygulama kolaylığı sebepli, Bayes Ağları Analizi öncesinde istenmeyen olayların nitel tanımlamaları için Hata Ağacı Analizi'nden yararlanılmıştır. Hata Ağacı Analizi'nden olayların yalnızca ilk aşamadaki nitel tanımlamalarında yararlanılmasının sebebi, Hata Ağacı Analizi'nin yeni bilgi ya da kanıtların elde edilmesi halinde analiz açısından yeterince esneklik sunmamasındandır. Hata ağaçları, temel olay olasılıklarının

güncellenmeleri ya da öncül olaylarla çok durumlu değişkenler arasındaki bağımlılıkların ortaya çıkarılması gibi risk analizini kapsamlı hale getiren önemli unsurların ele alınmasında yetersiz kalmaktadır (Hamza ve Abdallah, 2015).

Hata Türü ve Etki Analizi yöntemi ile de olayların nedenleri ve etkileri ile birlikte ortaya çıkarılması mümkündür. Fakat olay zincirlerinin ilişkisel tanımlamalarının yapılmasında yaratacağı eksiklik sebebiyle, daha yüzeysel bir risk analizi sunacağı düşünülür. Hata Türü ve Etki Analizi yöntemi ile birbiriyle nedensel ilişkilerle hiyerarşik olarak bağlantılı çoklu olaylar kapsamlı incelenememektedir. Hata Ağacı Analizi ise, Hata Türü ve Etki Analizi analizinin tam olarak bu eksikliğini giderir. Hata Ağacı Analizi'nde, kazanın meydana gelmesinde yeterlilik sağlayan minimum olay bileşimleri, bu olay bileşimlerinin önem sıralaması ve belli bir olayın gerçekleşme ihtimalinin ortadan kalkması durumunda değişen kaza olasılıkları belirlenebilmektedir. Fakat Hata Ağacı Analizi'nin olumsuz yanı, ele alınan olayların çeşitli durumsal varyasyonlarının ele alınmasına imkân vermemesindendir. Çünkü bu durum, nedensel ilişkilerin analize kapsamlı olarak yansıtılmasında yetersizlik yaratmaktadır.

Bayes ağları, değişkenlerin nedensel ilişkilerini belirten istatistiksel bağımlılıklarını gösterebildiğinden, sistem içinde değişkenler arası ilişkilerin özelleştirilmesini sağlar. Bayes ağlarındaki olasılık güncellemeleriyle, kazanın gerçekleşmiş olması halinde hangi olayların rolünün daha fazla olacağının belirlenmesi, Hata Ağacı Analizi'nin kazaların olması için yeter ve gerek şartı sağlayan "minimal olay birleşim" kümelerinden çok daha önemli bir bulgudur. Çünkü Hata Ağacı Analizi'ndeki minimal olay birleşimleri farklı olaylara bağlı durumlar sunmaz ve zaten her birleşim kümesinin gerçekleşme olasılığına bağlı olarak belirlenen önem seviyeleri de birbirine doğrudan bağlantısı bulunmayan olayların birbirinden bağımsız oldukları varsayılarak belirlenir (Bobbio ve diğ., 2001).

Bayes ağları, istenmeyen olaylara dair risk unsurunun ortaya çıkmasında etkili olan tüm olayları farklı durumsal varyasyonlarıyla birlikte ele alarak, parametrelerin farklı değerlerinin etkisinin incelenmesine imkân sunar. Böylelikle Bayes ağları modelinde sunulan nedensel çerçeve, olasılıkların risk yönetimi amacıyla birtakım müdahaleler sonucunda nasıl değişeceğini anlamak için uygunluk yaratmaktadır (Constantinou ve diğ., 2016).

Buna ek olarak Bayes ağlarında yer alan olaylar, olay birleşim kümeleri aracılığıyla değil, bütünsel olarak analize dahil edildiği için, olayların risk profilindeki konumu daha sağlıklı ortaya çıkarılabilmektedir. Karşılaştırmalı olarak risk analizlerini değerlendiren çalışmaların da ortak çıktısı, Bayes Ağları Analizi'nin risk analiz yöntemleri içinde en kapsamlı ve gerçeğe uygun risk analizleri sunduğu yönündedir (Kevorkian, 2016; Zhand ve diğ., 2014).

Dolayısıyla risk analizi için Bayes Ağları tekniğinin üstünlüğü, hata mekanizmasının büyük ölçüde bütün etki faktörleri ile birlikte kapsamlı anlaşılmasını sağlaması ve girdi parametreleri değiştiğinde de sayısal sonucu sunabilmesi özelliğinden gelmektedir. Ayrıca analizi yaparken, risk unsurunu oluşturan tüm olayları, aralarındaki bağımlılık ya da bağımsızlık ilişkileriyle birlikte ele alarak, dinamik risk modellemesi sağlar. Bayes ağlarının tümden gelim sorgulamalarıyla olay olasılıklarını belirleyip, olayların farklı durumlar altındaki güncellenen olasılıklarını bularak belirsizliğin azaltılmasına dair yeteneği, 'risk analizinin dinamik olarak ele alınması' şeklinde yorumlanır (Zarei ve diğ., 2017). Literatürde de süreç davranışlarının dinamik doğasının çalışmalara dahil edilebilmesi için yoğun bir çaba vardır ve dolayısıyla bunun için ilk adım, olasılık güncellemelerinin risk değerlendirme çalışmalarına dahil edilmesidir. Buna paralel olarak da Kalantarnia ve diğ. (2009) çalışmalarında, gelecek belli bir periyod için beklenen olay olasılıklarını sistemden elde edilen yeni bilgiler aracılığıyla Bayes mantığına göre güncelleyerek, gerçek zamanlı hata sıklıklarının ele alındığı dinamik bir risk analiz metodolojisi sunmuşlardır.

Değişken durumların olduğu sistemlerde risk belirlemesi için olay durumlarındaki varyasyonların hesaba katılmaması, hayati kayıpların olabileceği riskli inceleme alanlarında kabul edilemez. Bu yüzden risk analizi hesaplamalarında, Hata Ağacı Analizi, Olay Ağacı Analizi, Hata Türü ve Etki Analizi, Papyon Analizi gibi çeşitli analizlerinin kullanılması, risk analizlerinde yeterlilik sağlayamayacaktır. Çünkü, risk analizi yöntemlerinin ortak özelliği olan risk hakkında tanımlayıcı açıklamalar yaparak yüzeysel değerlendirme sunmak yerine, Bayes Ağları Analizi'nin yaptığı, riskin nedensel araştırılması ve olayların durumsal varyasyonları ile birlikte ele alınarak sayısallaştırılması daha gerçekçi ve bilimsel bir yaklaşımdır.

Literatürdeki Bayes ağları çalışmaları, farklı alanlar üzerinden aşağıdaki gibi örneklendirilebilir:

Sağlık alanında, nedensel ve hayati incelemeler konusunda Bayes Ağları Analizi'nin kullanımına psikiyatri ve kanser alanında yapılmış çalışmalar örnek olarak gösterilebilir. Constantinou ve diğ. (2016), adli psikiyatri alanında hastalıkla ilişkili nedenlerin, tedavilerin ve sonuçların uzman yargıları ile incelenmesini sağlamışlardır. Van der Gaag ve diğ. (2002) çalışmalarında, kanser hastalığının karakteristiğini belirleyebilmek üzere 70 değişken ve 4000'den fazla şartlı olasılık içeren bir Bayes ağı oluşturmuşlardır. Kurdukları ağın başarısını tespit etmek için, gerçek hasta verileri ile doğrulama yapmışlardır. Ağ için gerekli binlerce olasılığın değerlendirilmesi için güncel, zengin ve çok sayıda dataya sahip olmamaları ve ilgili literatürde bulunan çok sayıda olasılıksal bilgiye rağmen, bu verilerin onların ağına cevap verir nitelikte olmaması sebebiyle, uzman görüşlerinden yararlanmışlardır. İki uzmanla her biri 2-4 saat süren toplam 11 görüşme yaparak, uzun soluklu ve yorucu bir uzman çıkarım süreci geçirmişlerdir.

Gemi kazaları risk analizlerinde sıklıkla ele alınan konulardandır. Bu alanla ilgili kapsamlı risk analizleri yapılabilmesi için Bayes Ağları Analizi oldukça işlevsel bir şekilde kullanılmaktadır. Hänninen ve diğ. (2014a) Finlandiya Körfezi'ndeki gemi kazalarına, risk kontrol seçeneği olarak kabul edilen navigasyon hizmeti uygulamasının etkilerini uzman yargıları kullanarak incelemişlerdir. Afenyo ve diğ. (2017), geminin buzdağına çarpma kaza senaryolarını Bayes ağları ile ele almışlardır. Veritas (2003) insan hatalarının, teknik performanstan 4 kat daha önemli olduğu bulgusuna vardığı ve uzman yargılarıyla yaptığı bir gemicilik alanı risk incelemesi sunmuştur. Diğer yandan Chen ve diğ. (2015) de ağ yapısal çıkarımı yapmaya yetmeyecek, fakat şartlı olasılık değerlerini bulmaya yetecek sayıdaki geçmiş kaza verileri ile gemi kazalarını önleyici stratejiler geliştirebilmek için Bayes ağları ile risk analizi çalışması yapmışlardır. Zhang ve diğ. (2018), uzman yargıları ve aralıklı olasılık değerleri kullanarak, belirsizlikleri aşmışlar ve gemi çarpışma kazalarına dair risk analizi çalışması sunmuşlardır. Hänninen ve Kujala (2012)'nın gemi kazalarına sebep olan faktörleri inceledikleri çalışmalarında ise, geçmiş verilerin kısıtlı olması sebebiyle uzman yargılarından yararlanmışlar ve ele alınan konunun benzer olması halinde, çalışma alanına göre ağ değişkenlerinin ortak ve benzer yapıda olabileceğini belirtmişlerdir. Kazaların teknik, çevresel ve insan faktörlerinden etkilendiklerini ve insan ve organizasyonel hataların, Veritas (2003) çalışmasında belirtildiği gibi kazaların yaşanmasındaki en temel sebeplerden olduklarını belirtmişlerdir. Fakat

kazalar, pek çok sebebin birbiri ile ilişkili, karmaşık bir yapıda meydana gelmesinden dolayı, bunu ortaya çıkarmak zor olsa da uzman deneyimlerine dayanarak yapılan Bayes Ağları Analizi ile önemli analiz sonuçlarına ulaşılmıştır. Yine aynı yazarların 2014 yılında yaptıkları çalışmalarında (Hänninen ve Kujala, 2014) ise istatistiksel verilerden yararlanmaları ve yeterli veriye sahip olmaları mümkün olduğundan, algoritmalarla öğrenen Bayes ağı kurulumu gerçekleştirilmiştir. Aktar ve Utne (2014) ise gemilerin karaya oturma kazalarını ve insan yorgunluğu arasındaki ilişkisini Bayes ağları ile modelleyerek ele almıştır. Çalışmaya dahil edilen faktörlere dair olasılıksal bilgileri, geçmiş kaza raporlarında var olan faktörlerin raporlar içindeki sıklıklarına göre belirlemişler ve var olan bilgilerin eksik ya da zayıf kaldığı noktalarda da anket ve grup oturumları aracılığıyla uzman görüşlerinden yararlanmışlardır. Böylelikle, Bayes Ağları Analizi için geçmiş verileri ve uzman yargılarını bir arada kullanabilmesine yönelik yerinde bir örnek sunmuşlardır. Chen ve diğ. (2015) de Bayes Ağları ile sahip oldukları veriler üzerinden çeşitli koşullar altında meydana gelebilecek deniz kazalarının türüne göre belirlemeler ve kazanın türüne göre yaratacağı sonuç incelemesi yaparak, Bayes Ağları Analizi'nin etkisel inceleme sunma yeteneğinden yararlanmışlardır.

Bayes Ağları Analizi'nin sağlık ve gemicilik alanları dışındaki çalışma alanlarına da çeşitli örnekler sunulabilir. Örneğin Zhang ve diğ. (2014), inşaat projelerinde güvenlikle ilişkili kaza ve yaralanmalara dair risk analizi yaparak, inşaat sektörü alanında risk incelemeleri yapmışlardır. Tang ve diğ. (2016) ise, Bayes ağları ile su kirliliğine sebep olabilecek ve daha önce hiç gerçekleşmemiş su kirlenme kazalarına dair risk analizi yapmışlar ve anket, istatistiksel analiz ve alan uzman bilgilerinin bir arada kullanımı sağlamışlardır. Lee ve Lee (2006) çalışmalarında Bayes ağları ile nükleer atık bertarafına yönelik olasılıksal risk analizi yapmışlar ve nükleer endüstri gibi kimi alanlarda uzman görüşlerinin kullanımının zorunlu olduğunu göstermişlerdir. Wu ve diğ. (2017) de uzman yargıları ile yaptıkları Bayes Ağları Analizi'nde nedenden sonuca doğru doğalgaz boru hattı ağı ile ilişkili kazaların türlerine ve olası sonuçlarına göre olasılıksal inceleme yapmışlar ve olası müdahalelerin etkili ya da başarısız olması halinde değişen sonuçlarını da incelemişlerdir. Herhangi bir kaza durumunda, felaket derecesinde sonuçlara yol açabilecek yakıt ve gaz boru hatları güvenlik değerlendirmeleri için, Kabir ve diğ. (2016) Bayes Ağları Analizi'ni bulanık mantıkla birlikte kullanılmışlardır. Chin ve

diğ. (2009) ise yeni ürün geliştirme sürecindeki belirsizliklere dair risk incelemesi için Bayes Ağları Analizi'nden yararlanmışlar ve önerilen iki farklı tasarıma dair risk seviyesini araştırmışlardır. Jones ve diğ. (2010) ise sistemde arızalar sebepli yaşanan gecikme riskini ele alarak gecikmeden kaynaklı zararları minimize etmeye çalışmışlardır. Yazarlar, karbon siyahı üreten bir firmadaki gecikme zamanlarına dair Bayes ağları modellemesi ile gerçekleştirdikleri analizde hata sıklığını gösteren 4 değişkenli bir ağ oluşturmuşlardır. Arıza istatistiklerini geçmiş bakım raporlarından çıkarımlayıp, operatör yeteneği olarak nitelendirilen değişkenle (kök neden) ilişkili olasılık değerlerini de uzman yargılarıyla oluşturulmuşlar ve sonunda geleneksel istatistiksel ortalamalardan daha doğru sonuçlara ulaşarak minimum denetleme aralığının tespitini sağlamışlardır. Xue ve diğ. (2016) ise, madencilik alanında, kazıyıcı konveyörün olası arızaları üzerine çalışma yapmışlar ve bakım süreçlerini ve ekonomik kayıpları azaltabilmek için makine-ekipman güvenilirliklerine dair, arızalara sebep olan temel olay olasılıklarını incelemişlerdir.

Bayes ağları neden-sonuç ilişkisi içinde olmak şartıyla, karar ve etkisini yansıtır değişkenler ile risk sistemi içinde bulunmasa da analiz kapsamını arttırabilir. Literatürde sıklıkla görülmese de sisteme karar verme değişkenlerini temsil eden düğümler ekleyerek Bayes ağı aracılığıyla, riskle ilişkili bir karar sistemi oluşturmak mümkündür. Örneğin, Wu ve diğ. (2017) çalışmalarında doğalgaz boru hattında meydana gelebilecek çeşitli kazalara dair yapılacak müdahalelerin, başarısız olup-olmamasına dair sorgulamaları analizlerine dahil etmişlerdir. Bu tez çalışmasında da Bayes ağlarının bu özelliğinden özellikle yararlanılmış ve sistemin içinde olmayan unsurlar analize dahil edilerek risk analiz kapsamı genişletilmiştir.

Bu çalışmada kullanılan ana yöntem olan Bayes ağları yapısının teorik olarak anlaşılması için, öncelikle sahip olduğu yapısal ilişkileri bağımlılık ve bağımsızlık esaslarına dayanarak anlatılmış ve riskin sayısallaştırılması için gerekli parametrelerin hesaplanması ve kullanımı üzerine ayrıntılar sunulup, Bayes Ağları Analizi'nin tüm detayları aktarılmıştır.

3.1 Bayes Ağlarında Yapısal İlişkiler

Bayes ağları, olayların gerçekleşmesinde etkili olan olayların aralarındaki ilişkilerle birlikte grafiksel olarak gösterilmesini sağlar (O'Hagan ve diğ., 2006). Ağda nedensel yapılar, döngüsel olmayan ve birbirine oklarla doğrudan bağlı düğümlerden oluşur.

Düğümler değişkenleri temsil ederken, oklar da iki değişken arasındaki doğrudan nedensel bağlantıları temsil eder. Ağın döngüsel olmaması da oklarla döngü yapılmasına izin verilmediğindendir (Holyoak ve Morrison, 2005; Laitila, 2013). Ağın, Markov şartlarını karşıladığı varsayılır. Yani doğrudan ya da dolaylı olarak birbirleriyle etkileşim içinde olmayan değişkenlerin, birbirinden bağımsız oldukları kabul edilir (Holyoak ve Morrison, 2005).

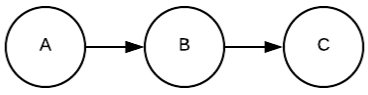
Bayes ağları, olaylar arasındaki sebep-sonuç ilişkileri hakkında nitel varsayımlar yapar ve varsayımların çeşitli kombinasyonlarından da nedensel çıkarımlar türetilir (Lee ve Lee, 2006). Diğer bir deyişle bir Bayes ağı, sebep-sonuç ilişkilerinden oluşan bir dizi yerel modelden oluşur (Laskey, 1995).

Bir Bayes ağının kurulumunu sağlayabilmek için yapısal ilişkilere dair bağımsızlık ve çoklu olay incelemelerinin ve değişkenler arasındaki temel ilişki modellerinin anlaşılması gerekmektedir.

3.1.1 Bayes ağlarındaki temel ilişki modelleri

Bayes ağlarında olaylar, aralarındaki ilişkilere göre ele alınmaktadır. Ağ içindeki değişkenlere dair zinciri ilişkisi, ortak neden ilişkisi ve ortak etki ilişkisi olmak üzere nedensel üç temel ilişki modeli vardır. Olayların birbirleriyle olan bağımlılık ya da bağımsızlık ilişkilerinin ağa işlenebilmesi için bu temel ilişki yapılarına hâkim olunması gerekmektedir.

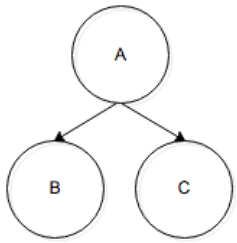
Şekil 3.1'deki gibi gösterilen zincir ilişkisi, olayların birbirlerini zincir etkisi ile peş peşe etkilemesinin grafiksel gösterimidir. Olasılık ağları yapısına göre 'seri bağlantı' olarak da tanımlanır (Madsen ve Kjærulff, 2013; Wang, 2004). Etkinin etkisini ya da nedenin nedenini sunabilme imkânı sağlar. Şekil 3.1'deki yapıya göre 'A olayı B olayının nedeni ve B olayı da C olayının nedeni' ya da 'B olayı A olayının etkisi ve C olayı da B olayının etkisi' olarak belirtilebilir.



Şekil 3.1 : Zincir ilişkisi.

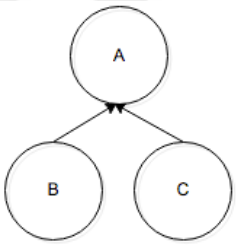
Ortak neden ilişkisi ise, Şekil 3.2'de görüldüğü gibidir. Bir değişkenin birden fazla değişkeni etkilemesi ya da bir değişkenin birden fazla değişkenin nedeni olmasıdır. Olayların ortak sebebinin gözlenebilmesini ya da bir olayın çeşitli etkilerinin

anlaşılabilmesini sağlar. Olasılık ağları yapısına göre, ‘ayrılan bağlantı’ olarak da tanımlanır (Madsen ve Kjærulff, 2013). Şekil 3.2’deki grafiksel ağda, ‘A olayının B ve C olaylarının ortak nedeni’ ya da ‘B ve C olaylarının, A olayının etkileri’ olduğu görülür.



Şekil 3.2 : Ortak neden ilişkisi.

Ortak etki ilişkisi ise birden fazla değişkenin, bir değişken üzerinde etki sahibi olduğunu gösterir. Diğer bir deyişle, bir değişkenin meydana gelmesine sebep olan nedenlerin gösterildiği ağdır. Olasılık ağları yapısına göre, ‘birleşen bağlantı’ olarak da tanımlanır (Madsen ve Kjærulff, 2013). Şekil 3.3’teki ilişki, ‘A olayı, B ve C olaylarının ortak etkisi’ ya da ‘B ve C olayları, A olayının meydana gelmesindeki nedenler’ olarak yorumlanır.



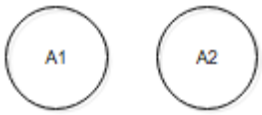
Şekil 3.3 : Ortak etki ilişkisi.

3.1.2 Bayes ağlarında bağımsızlık ilişkileri

Bayes ağları, ilişkiler arasındaki bağımlılıkları kullanarak olayların meydana gelmelerindeki ana nedenlerin öğrenilmesini ya da olayların sonuçlarının ayrıntılı incelenmesini sağlar. Fakat Bayes ağlarının niteliksel yapısının anlaşılmasında ve nicel hesaplamalarının sağlanmasında bağımlılık kavramı ile birlikte, ilişkiler arasındaki bağımsızlık kavramı da çok önemlidir. Bayes ağları kapsamında, iki tür bağımsızlık söz konusudur. Bunlar, olayların birbirinden tamamen bağımsız olması ya da birtakım şartlar altında bağımsız olmalarıdır.

Olayların bağımsızlığı, olayların ayrı ayrı gözlenmesinin diğer olaylar için herhangi bir çıkarım imkânı sunmaması olarak açıklanabilir. Örneğin, havaya atılan adil bir bozuk paranın yere düştüğünde yazı ya da tura gelmesi, birbirinden bağımsız

olaylardır. Aralarında hiçbir bağıl ilişki olmayan bu iki olayın grafiksel ağ gösterimi, düğümler arasında herhangi bir bağlantı olmadan resmedilir. Şekil 3.4'te, birbirinden bağımsız, A1 ve A2 olayları, aralarında bir bağlantı olmadan gösterilmiştir. A1 olayı gözlenerek A2 olayı çıkarımlanamaz, A2 olayı gözlenerek de A1 olayı çıkarımlanamaz.



Şekil 3.4 : İki bağımsız değişken.

İki değişken birbirinden bağımsızsa, olayların bileşik olasılıkları iki olayın marjinal olasılıklarının çarpımıdır. Çünkü birbiri ile ilişkisi olmayan iki olayın ($x_1$ve x_2) arasında bir korelasyon yoktur ve Bayes Teorisi'nde ifade edilen birbirine bağlı-şartlı olasılık değerlerine de ihtiyaç kalmaz. $x_1 \coprod x_2$ notasyonu ile gösterilen iki olayın bağımsızlığı, ancak ve ancak denklem 3.1 ifadesinde sunulan koşulun gerçekleşmesi halinde mümkündür.

$$\forall x_1, x_2 : P(x_1, x_2) = P(x_1) * P(x_2) \tag{3.1}$$

Birbirinden bağımsız iki olay olan, x_1'in x_2'ye bağlı olma olasılığı doğrudan denklem 3.2'de görüldüğü gibi, x_1'in marjinal olasılığını verecektir. Eğer x_2 olayının gözlenmesi şartıyla x_1 olayının meydana gelme olasılığı, x_1 olayının marjinal olasılığına eşitse (denklem 3.2), x_1 ve x_2 olayları birbirinden tamamen bağımsızdırlar. Bu bağımsızlık ifadesinin yorumu, "$x_2$olayının x_1 olayı üzerinde herhangi bir etkisi yoktur" şeklinde yapılır.

$$\forall x_1, x_2 : P(x_1 | x_2) = P(x_1) \tag{3.2}$$

Tersi için, aynı şekilde x_2'nin x_1'e bağlı olma olasılığı da doğrudan denklem 3.3'te görüldüğü gibi, x_2'in marjinal olasılığını verecektir.

$$\forall x_1, x_2 : P(x_2 | x_1) = P(x_2) \tag{3.3}$$

Olayların bağımsızlığı durumunda, denklem 3.1 formülasyonunun uygulanarak yapılan bileşik olasılık hesaplaması, karmaşık Bayes ağlarında çoklu olay bileşik

olasılıkları hesaplamasında ve zincir kuralı sadeleştirmelerinde oldukça kullanılacaktır.

Bileşik olasılık dağılımı bilinen olayların, bağımsızlık kontrolünün yapılması da mümkündür. x_1 ve x_2 olaylarının bileşik olasılık dağılımlarını gösteren olasılık dağılımı varsa (denklem 3.4), bu iki olayın birbirleriyle olan bağımsızlığı kontrol edilebilir. Her iki olayın da gerçekleşme durumları "1", gerçekleşmeme durumları ise "0 ile ifade edilirken, şartlı olasılık dağılımlarının denklem 3.4'teki gibi olduğu varsayılsın:

$$\begin{aligned} P(x_1 = O, x_2 = 0) &= 0.2 \\ P(x_1 = 1, x_2 = 0) &= 0.05 \\ P(x_1 = O, x_2 = 1) &= 0.4 \\ P(x_1 = 1, x_2 = 1) &= 0.35 \end{aligned} \tag{3.4}$$

Görüldüğü gibi, gerçekleşmesi söz konusu olan tüm bileşik olay durumları göz önüne alındığında, olaylara dair tüm kombinasyonların bileşik olasılıkları toplamları 1'dir.

$x_1$ve x_2'nin gerçekleşme ve gerçekleşmeme durumlarına dair marjinal olasılıkları da denklem 3.5'te gösterildiği gibi bulunur:

$$\begin{aligned} P(x_1 = O) &= 0.6 \\ P(x_1 = 1) &= 0.4 \\ P(x_2 = O) &= 0.25 \\ P(x_2 = 1) &= 0.75 \end{aligned} \tag{3.5}$$

$x_1$ve x_2 olaylarının bileşik olasılık değerleri, bilinen değerlerden bağımsız olarak, bulunan marjinal olasılık değerlerine göre denklem 3.6'da gösterildiği gibi oluşturulmaya çalışılır:

$$\begin{aligned} P(x_1, x_2) &= P(x_1) * P(x_2) \\ P(x_1 = O, x_2 = 0) &= P(x_1 = O) * P(x_2 = 0) = 0.6 * 0.25 = 0.1 \\ P(x_1 = 1, x_2 = 0) &= P(x_1 = 1) * P(x_2 = 0) = 0.4 * 0.25 = 0.1 \\ P(x_1 = O, x_2 = 1) &= P(x_1 = O) * P(x_2 = 1) = 0.6 * 0.75 = 0.45 \\ P(x_1 = 1, x_2 = 1) &= P(x_1 = 1) * P(x_2 = 1) = 0.4 * 0.75 = 0.3 \end{aligned} \tag{3.6}$$

Bileşik olasılık dağılımındaki değerlere, olayların bağımsızlık varsayımına bağlı olasılık hesaplamasıyla ulaşılamadığından, $x_1$ve x_2'nin birbirinden bağımsız olmadığı belirtilebilir.

Diğer bağımsızlık unsuru ise, koşullu bağımsızlıktır. Bayes ağları, Bayes teorisiyle gelen şartlı olasılık kavramıyla birlikte aynı zamanda şartlı bağımsızlıklardan da yararlanır (Garvey ve diğ., 2015). Diğer bir deyişle, Bayes ağlarında, olayların birbirlerine bağlı olarak ortaya çıkan şartlı bağımsızlıkları söz konusudur. Bayes ağlarının nitel aşaması, d-ayırma ile anlaşılabilen bir dizi şartlı bağımsızlık varsayımı sunar (Bobbio ve diğ., 2001). D-ayırma, grafiksel modellerde nedensel ilişki kurulabilmesi için, koşullu bağımsızlık kavramını grafik yapısına bağlayan temel özelliktir (Wang, 2004). Bu yüzden Bayes Ağı grafik modelinde, bağımlılıklar döngü olmayacak şekilde oluşturulmuşsa, ağın tasarımcısını tam olarak belirli değişkenler arasında koşullu bağımsızlığı kabul ettiği varsayılır (Garvey ve diğ., 2015).

Bir ağın ifade edilmesinde, ağın içindeki rassal değişkenlere dair bileşik olasılık dağılımları gereklidir. Fakat gerçekte, bu dağılımı hesaplamak uygun olmayacağından, şartlı bağımsızlık varsayımlarıyla alternatif yaklaşımlar kullanarak etkili şekilde hesaplamalar yapmak mümkündür (Lee ve Lee, 2006). Diğer bir deyişle Bayes ağlarında, tam bir bileşik olasılık tablosu istendiğinde her bir değişkenin farklı durumu hesaba katılarak oluşturulmuş çok fazla kombinasyona dair parametre toplanması ve hesaplama yapılması gerekirken, şartlı bağımsızlıklar daha kompakt bir yapı sunarak, ağın daha kolay çözümlenmesini sağlar. Çünkü değişkenlerin diğer tüm değişkenlerle olan ilişkilerini hesaba katan zincir kuralı ile oluşturulmuş bileşik olasılık hesaplamalarında, şartlı bağımsızlıklara göre birtakım sadeleştirmeler yapmak mümkündür.

Bayes sorgulamasında gözlenen bir değişkene kanıt adı verilir. Ağ ile ilgili bir kanıt verildiğinde, iki değişken birbirinden bağımsız olmayı garantileyebilir ve bu durum matematiksel olarak da ispatlanabilir. Bu sebeple Bayes ağları yapısı oluşturulurken bağımlılık ve bağımsızlık ilişkilerine bir arada dikkat edilmesi gerekir.

Şartlı bağımsızlık, bir olaya bağlı olarak, iki farklı olayın birbirinden bağımsız olması, diğer bir deyişle bir değişkenin, iki değişken arasındaki bağımlılık ilişkisini ortadan kaldırmasıdır. Şartlı bağımsızlık için, 'başka bir olayla ortaya çıkan bağımsızlık' ifadesini de kullanabiliriz. Diğer bir deyişle, kanıt olarak verilmiş bir durum şartına

bağlı olarak oluşan, 'olay bağımsızlıkları'dır. Aşağıda, z olayı ile ilgili bilgiye sahip olunma şartı altında, x ve y olaylarının birbirlerinden bağımsız olmalarına dair, gerek ve yeter koşulu gösterilmektedir (denklem 3.7):

$$\forall x, y, z: P(x, y|z) = P(x|z) * P(y|z) \tag{3.7}$$

Yukarıdaki şartlı bağımsızlık ifadesi ile x ve y olaylarının olasılıklarının, tersi de geçerli olmak üzere, yalnızca z olayına bağlı olarak değiştiği belirtilmiş olunur. Aşağıdaki ifade de görüldüğü gibi (denklem 3.8), z olayına dair bilgi edinilmesi halinde, x olayı ile y olayı arasında herhangi bir bilgi alışverişinin olmadığı görülür.

$$\begin{aligned} \forall x, y, z: P(x|y, z) = P(x|z) \\ \forall x, y, z: P(y|x, z) = P(y|z) \end{aligned} \tag{3.8}$$

$(x \coprod y|z)$ notasyonu ile ifade edilen şartlı bağımsızlık durumu, şartlı bağımlılık durumu ile birlikte Bayes ağları hesaplamalarının dayandığı en önemli altyapı unsurlarındandır. Şartlı bağımlılık durumu ile olayların birbirlerine bağlı değişen olasılık güncellemeleri yapılırken, şartlı bağımsızlık durumu ile de olayların belli şartlar altında birbirleri ile ilişki içinde olmadıkları ve birbirlerini etkilememeleri durumu ağa aktarılır.

Bayes ağlarında olayların bir arada gözlenme olasılıklarını gösterir tüm bileşik olasılıklar $P(x_1, x_2, x_3, x_{4,}, \dots x_m)$ zincir kuralından yararlanılarak hesaplanmaktadır. Zincir kuralına göre bileşik olasılık ifadesi, zincirin ilk halkasını oluşturan olayın birlikte sorgulandığı diğer olaylarla, birbirlerini zincir etkisi ile etkilemesi ile meydana gelen olasılığı sorgulasa da her değişken yalnızca kendi soyundaki değişkenleri etkileyebilir. Dolayısıyla, bileşik olasılık içinde sorgulanan her değişken yalnızca ebeveyn değişkenlerine bağlıdır ve aynı soydan olmayan diğer değişkenlerden şartlı olarak bağımsızdır (denklem 3.9).

$$P(x_i|x_1, x_2, \dots x_{i-1}) = P(x_i|ebeveyn\ (x_i)) \tag{3.9}$$

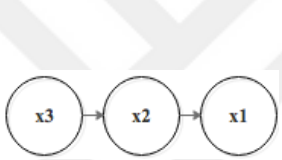
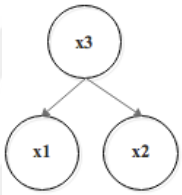
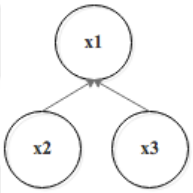
Bayes ağları, bir dizi değişkene dair büyük bir olasılık dağılımıdır ve şartlı bağımsızlıklar aracılığıyla oldukça kompakt çözümlemeler sunar. Diğer bir deyişle, her olay yalnızca ebeveynlerinden etkilenmektedir ve olayların ebeveynleri verildiği takdirde diğer olaylardan bağımsız olacaktır. Bu yüzden, rassal değişkenlerin bileşik

olasılık dağılımı, şartlı bağımsızlık ve d-ayırma varsayımlarına göre çarpanlarına ayrılır (Bobbio ve diğ., 2001). Buna bağlı olarak bir ağ içindeki belirli olayların bileşik olasılık hesaplamaları yapılırken, olayların birlikte sorgulandığı diğer olaylara değil, yalnızca ebeveynlerine bağlı olasılık değişimleri göz önüne alınacağından hesaplama, denklem 2.13 ifadesinden, denklem 3.10 ifadesine sadeleşmektedir.

$$P(x_1, x_2, \dots x_m) = \prod_{i=m} P(x_i | ebeveyn\ (x_i)) \tag{3.10}$$

Her olayı yalnızca ebeveyninin etkileyebilmesi sebebiyle bileşik olasılık hesaplamaları, her ilişki türü için Çizelge 3.1'de belirtildiği gibi sadeleşmektedir:

Çizelge 3.1 : Bayes ağları içindeki ilişkilere göre bileşik olasılık ifadeleri.

İlişki Türü	Zincir ilişkisi	Ortak Neden İlişkisi	Ortak Etki İlişkisi
Ağ Gösterimi			
Zincir Kuralına Göre Bileşik Olasılık	$P(x_1, x_2, x_3) = P(x_1\|x_2, x_3)P(x_2\|x_3)P(x_3)$		
Sadeleştirilmiş Bileşik Olasılık İfadesi	$P(x_1, x_2, x_3) = P(x_1\|x_2)P(x_2\|x_3)P(x_3)$	$P(x_1, x_2, x_3) = P(x_1\|x_3)P(x_2\|x_3)P(x_3)$	$P(x_1, x_2, x_3) = P(x_1\|x_2, x_3)P(x_2)P(x_3)$

Zincir ilişkisinde, ara değişken x_2'nin gözlemlenmesi şartıyla, x_3'ün x_1 üzerinde daha fazla etkisi yoktur. Bu nedenle, x_1 ve x_3'ün olasılık dağılımları, x_2'nin verilmesi halinde, koşullu olarak bağımsızdır (Steyvers ve diğ., 2003). Çünkü, x_1 ve x_2 ile x_2 ve x_3 olayları aralarında doğrudan sebepsel bağlantı taşırlarken, x_2 olayı netleşince, x_1 ve x_3 arasındaki etki bloklanmış olacaktır (Wang, 2004). Bu bağımsızlık olasılıksal olarak denklem 3.11'deki gibi ifade edilir:

$$P(x_3|x_1\ , x_2) = P(x_3|x_2) \tag{3.11}$$

Bu ifade, matematiksel olarak, zincir kuralı kullanılarak, denklem 3.12'deki gibi ispatlanabilir:

$$P(x_3|x_1,x_2)=\frac{P(x_3,x_1,x_2)}{P(x_1,x_2)}=\frac{P(x_1)*P(x_2|x_1)*P(x_3|x_2)}{P(x_1)*P(x_2|x_1)}=P(x_3|x_2) \quad (3.12)$$

Ortak neden ilişkisinde, x_1 ve x_2 olayları birbirlerine bağımlı değişkenlerdir. Fakat x_3 olayı hakkındaki belirsizliğin ortadan kalkması halinde x_1 ve x_2 olaylarının alacakları değerler de sabitleneceğinden dolayı x_1 ve x_2 olayları arasındaki etki iletişimi bloklanacak ve birbirlerinden bağımsız olacaklardır. Bu durumun olasılıksal ifadesi denklem 3.13'te verilmiştir:

$$P(x_2|x_1,x_3)=P(x_2|x_3) \quad (3.13)$$

Zincir kuralı kullanılarak, denklem 3.13'teki ifadenin ispatı denklem 3.14'te gibi yapılır:

$$P(x_2|x_1,x_3)=\frac{P(x_2,x_1,x_3)}{P(x_1,x_3)}=\frac{P(x_3)*P(x_1|x_3)*P(x_2|x_3)}{P(x_3)*P(x_1|x_3)}=P(x_2|x_3) \quad (3.14)$$

Ortak etki ilişkisinde ise, x_1 olayı x_2 ve x_3 olaylarının her ikisinden de etkilendiği için, x_2 ve x_1 olayı ile x_3 ve x_1 olayları birbirlerini doğrudan etkileyen olay çiftleridir. Fakat, x_2 ve x_3 olayları birbirinden tamamen bağımsızdır. Tersi de geçerli olmak üzere, x_2 değişkeni hangi değeri alırsa alsın, x_3 değişkeni ondan etkilenmeyecektir. Dolayısıyla x_2 ve x_3 olayları arasındaki herhangi bir şarta bağlı olmadan var olan bir bağımsızlık vardır.

Ancak x_1 olayına dair belirsizlik içeren durum ortadan kalkarsa, x_2 ve x_3 olayları birbirlerine bağımlı hale geleceklerdir (Wang, 2004). Çünkü x_2 ve x_3 olaylarının belirli durumsal kombinasyonları ile x_1 olayı netleşebilmektedir.

x_2 ve x_3 olayları bağımsız oldukları için (x_2, x_3) ve (x_1 , x_2, x_3) olaylarının bileşik olasılıklarının ifadesi denklem 3.15'teki gibidir.

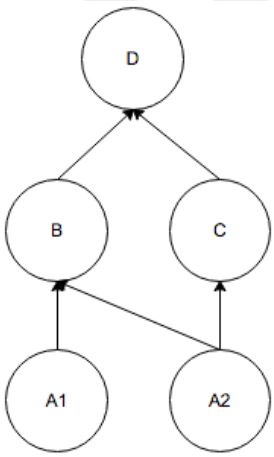
$$P(x_2,x_3)=P(x_2)*P(x_3)$$
$$P(x_1,x_2,x_3)=P(x_2)*P(x_3)*\ P(x_1|x_2,x_3)=P(x_2,x_3)*P(x_1|x_2,x_3) \quad (3.15)$$

x_1 olayının bilinmesi halinde x_2 ve x_3 olaylarının bağımsız oldukları da denklem 3.16'daki işlemlerden anlaşılmaktadır:

$$P(x_2, x_3|x_1) = \frac{P(x_1, x_2, x_3)}{P(x_1)} = \frac{P(x_2) * P(x_3) * P(x_1|x_2, x_3)}{P(x_1)} = P(x_2) * P(x_3) \qquad (3.16)$$

Bayes ağı içerisinde, kanıt değişkenleri adı verilen değişkenlerin aldığı değerlerinin bilinmesi halinde, ağ ilişkileri hedef değişkenin koşullu dağılımı hakkındaki soruları cevaplamak için kullanılırken (Laskey, 1995) bağımlılık ve bağımsızlık durumları göz önüne alınır. Bağımsızlıklar, ağa bakılarak gözlemlenebilmektedir. Bağımsızlıklarla birlikte olasılık notasyonlarında yapılan sadeleştirmeler çok kıymetlidir; önemli miktardaki veri ihtiyacından ve hesaplama yükünden kurtarır. Aşağıda verilmiş örnek ağlarla bu durum örneklendirilmeye çalışılmıştır.

Örnek 1: Şekil 3.5'te içindeki değişkenlere ve ilişkilere dair önemli unsurların belirlenmesi için örnek bir Bayes ağı verilmiştir.



Şekil 3.5 : Örnek Bayes ağı-1.

- A1 değişkeni, kendi soyundan devam eden B ve D değişkenleri ile bağımlı, soyundan olmayan A2 ve C değişkeninden bağımsızdır.
- B değişkeni A1 ve A2 değişkenine, ebeveynleri olmaları sebebiyle bağımlıdır.
- B değişkeni C değişkeninden bağımsızdır. Çünkü C değişkeni B değişkeninin soyundan değildir.
- C değişkeni yalnızca A2 ve D değişkenleri ile bağımlıdır. A1 ve B değişkenlerinden bağımsızdır.
- A1 ve A2 değişkenleri ebeveynleri olmadığı için hiçbir değişkene bağlı değillerdir.
- A1 ve A2 olaylarının marjinal olasılıkları vardır.

- B olayının olasılığı, A1 ve A2 olayından etkilendiği için şartlı olasılık değerlerine göre bulunur.

A1, A2, B, C ve D değişkenlerinden oluşan Bayes ağının $P(A1, A2, B, C, D)$ bileşik olasılığı için, değişkenlerin her birinin iki farklı duruma sahip olması halinde, 2^5 tane değişken durum kombinasyon olasılığının sorgulanması gerekmektedir. Zincir kuralı ile bileşik olasılık notasyonunu en son nesilden itibaren ilk nesle doğru yazarak, olasılık hesaplamasını denklem 3.17'deki gibi çarpanlarına ayırmak mümkündür:

$$P(D, B, A1, C, A2) = P(D|B, A1, C, A2) * P(B|A1, C, A2) * P(A1|C, A2) * P(C|A2) * P(A2) \quad (3.17)$$

Ağ içindeki şartlı bağımsızlık ilişkilerini göz önüne alarak, bileşik olasılık hesaplamasına dair 5 çarpan hakkında da aşağıdaki ifadeleri sunmak mümkündür:

- D değişkeninin şartlı olasılığını ifade eden ilk çarpan; D değişkeni, yalnızca ebeveyni olan B ve C değişkenlerine bağlı ve diğer değişkenlerden bağımsız olduğu için, P(D|B,C) olarak sadeleşir.
- B değişkeninin şartlı olasılığını ifade edene ikinci çarpan; B değişkeni ebeveynleri olan A1 ve A2 değişkenlerin bağlı ve C değişkeninden bağımsız olduğu için P(B|A1, A2) olarak sadeleşir.
- A1 değişkeninin şartlı olasılığını belirten üçüncü çarpan; A1 değişkeni hem A2 hem C değişkeninden bağımsız olduğu için P(A1) olarak yazılabilir.
- C değişkeninin A2 değişkenine bağlı şartlı olasılığını belirten dördüncü çarpan; C değişkenin A2 değişkeninin çocuk düğümü olması sebepli aynen kalır.
- Son olarak, beşinci çarpandaki A2 değişkeninin olasılığı ebeveyni olmayan bir düğümün olasılığını temsil ettiği için, marjinal olasılık haliyle kalacaktır.

Dolayısıyla bileşik olasılık açılımının son hali denklem 3.18'deki gibidir:

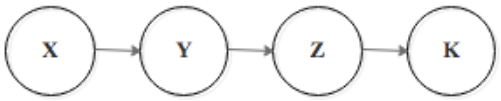
$$P(D, B, A1, C, A2) = P(D|B, C) * P(B|A1, A2) * P(A1) * P(C|A2) * P(A2) \quad (3.18)$$

En son nesilden itibaren çarpanların düzenlenmesi halinde denklem 3.19'daki ifadeye ulaşılır:

$$P(D,B,A1,C,A2) = P(A1) * P(A2) * P(B|A1,A2) * P(C|A2) * P(D|B,C) \quad (3.19)$$

Ağ yapısından gözlenebilen değişkenler arasındaki bağımsızlıklar aracılığıyla, bileşik olasılık hesaplamalarında da kolaylıklar sağlanmaktadır.

Örnek 2: Şekil 3.6'da değişkenlerinin zincir ilişkisi içinde bulunduğu bir Bayes ağı verilmiştir.



Şekil 3.6 : Örnek Bayes ağı-2.

Şekil 3.6'daki ağın zincir kuralına göre bileşik olasılık ifadesi denklem 3.20'deki gibi olacaktır:

$$P(K,Z,Y,X) = P(K|Z,Y,X) * P(Z|Y,X) * P(Y|X) * P(X) \quad (3.20)$$

$P(X,Y,Z,K)$, bileşik olasılık hesaplamasında, her değişkenin yalnızca kendi ebeveynine bağlı olasılığı dikkate alınacağından, şartlı bağımsızlıklar aracılığıyla sadeleşmiş ağ bileşik olasılık notasyonu denklem 3.21'deki gibi olacaktır:

$$P(K,Z,Y,X) = P(K|Z) * P(Z|Y) * P(Y|X) * P(X) \quad (3.21)$$

Örneklerden de anlaşıldığı gibi, Bayes ağları, büyük modelleri, çözümlenecek daha küçük parçalara bölerek hesaplama ve analiz için uygulanabilir çözüm yolları yaratmaktadır (Pearl, 1988).

Bu aşamaya kadar, Bayes ağları içindeki yapısal ilişkiler, ağ içinde değişkenlerin birbirleri ile aralarındaki bağımlılıkları ve bağımsızlıkları ile, ağ ile ilgili birtakım değişkenlere dair bulguların elde edilmesi halinde olayların arasındaki ilişkilerin ortaya çıkartılabilmesine yönelik temel kurallar anlatılmıştır. Olayların aralarındaki nedensel ilişkilerin anlaşılmasından sonra ağ yapılandırmasına geçilebilecektir.

3.2 Bayes Ağı Yapılandırması

Bayes ağları, olayların meydana gelişlerine dair oluşturulan haritalardır. Bu haritalar, ağ değişkenleri arası nedensel ilişkileri gösteren ve nitel yapılandırmayı oluşturan temel yapıtaşlarıdır. Bayes ağı yapılandırması ile olayların neden-sonuç ilişkilerinin

grafiksel gösterimi sağlanır. Olaylar ağ içerisinde, birbirini peşi sıra etkileyen zincir ilişkisi, çoklu nedenle ortaya çıkan ortak etki ilişkisi ya da çoklu etkinin ortaya çıktığı ortak neden ilişkisi içerisinde bulunurlar. Olaylar arasındaki bağımlılıkları yansıtan bu ilişki haritalarında, yeni bilgiler ışığında önemli çıkarımlar yapılmasını sağlayan bağımsızlık ilişkileri de oldukça önemli rol oynamaktadır. Yeni bilgilerin elde edilmesiyle birlikte olaylar arasındaki ilişkilerin güncellenerek, olaylara dair dinamik analizlerin gerçekleştirilmesi, Bayes ağları kullanımının en temel avantajlarındandır.

Olaylar hakkında doğru çıkarımların yapılmasında, Bayes ağlarının doğru yapılandırılması oldukça önemlidir. Oluşturulan yönlendirilmiş grafikler, sezgisel olarak olaylara dair nedensel bilgileri sunar (Madsen ve Kjærulff, 2013; Steyvers ve diğ., 2003). Sezgisel çıkarımların doğru yapılabilmesi, öncelikle olay akışlarının ağa ve gerçeğe uygun bir şekilde yansıtılmasına bağlıdır. Doğru yapılandırılmış bir Bayes ağı ile bilimsel temeller üzerine kurulu, pek çok analiz ve çıkarım gerçekleştirilebilecektir (Madsen ve Kjærulff, 2013).

Her türlü Bayes ağı için, problem alanı hakkında deneyimli uzmanlarla çalışabilmek mümkündür. Çünkü Bayes Ağları'nın yapılandırma aşamasında ya geçmiş verilerden yararlanılacaktır ya da değişkenlerin belirlenmesi ve nedensel ilişkilerin ağa yansıtılması için uzman yargıları kullanılacaktır. Ağa yansıtılan olaylara dair sayısal veriler olsa da oluşturulan ağın bilindik senaryolarla doğrulanması aşamasında uzmanların görüşünün alındığı da olur. Dolayısıyla, Bayes ağları yapılandırması için, analist ve alan uzmanları bir arada çalışabilirler (Langseth ve Portinale, 2007). Ele alınacak olayla ilgili, geçmiş verilere ulaşılabildiği durumlarda oluşturulan Bayes ağlarına "Öğrenen Bayes Ağları" denilmektedir. Sahip olunan geçmiş veriler, değişkenler arası bağımlılıkları en iyi tanımlayan grafiksel yapının oluşturulması için en uygun modelin seçilmesine olanak tanır (Laitila, 2013). Fakat her ne kadar ağın oluşturulması, sahip olunan veriler aracılığıyla sağlanmış olsa da hem duyarlılık analizleri hem de senaryo analizleri sonuçlarının incelenmesinde ve modelin nasıl davrandığının test edilmesinde uzman yargılarından yararlanılabilir (Langseth ve Portinale, 2007).

Risk analizi çalışmalarında, ilgili probleme dair geçmiş verilere kolaylıkla ulaşılmayabilmektedir. Değişkenler arasındaki ilişkilerin geçmiş veriler aracılığıyla belirlenemediği çalışmalar için alan uzmanları', çalışmaların temel veri kaynakları olmaktadır. Uzman yargılarının bilimsel veri olarak kabul edilebilirliğine dair

çelişkiler olsa da uzay çalışmaları gibi belli alanlarda, risk analizini alan uzmanları ile yapmak kaçınılmaz olabilmektedir. Konuyla ilgili olarak Ayyub (2001), "analist, mühendis ve bilim adamlarının, karmaşık problemleri, giderek daha kısıtlı kaynaklar altında verilen kararlarla çözmeye çalışacağından, veri belirsizliğinin üstesinden gelebilmek için güvenilir yöntemlere ve uzman fikirlerinin kullanımına güvenme ihtiyacının artacağı"nı belirtmiştir.

Değişkenler, olaylar ya da durumlar arasındaki sebep-sonuç ilişkilerinin ortaya çıkarılması başlı başına bir problemdir. Çıkarım yapabilmek için deney yapabilme, gözleyebilme ya da ölçebilme gibi durumlar söz konusu ise sebep-sonuç arasındaki ilişkinin belirlenmesi, nispeten kolay bir problemdir. Fakat belirlenmeye çalışılan neden-sonuç ilişkisi kolaylıkla gözlenebilen, deney yapılabilen ya da ölçülebilen bir durum içinde değilse, belirsizliğin ve verilere ulaşma maliyetinin üstesinden gelebilmek için, çeşitli yaklaşımlar geliştirerek uzman yargılarından yararlanmak gerekir.

Uzman yargıları ile risk analizi yapabilmenin temeli, olaylar ve nedenselliklerin sorgulanmasıdır. Dolayısıyla ağ yapılandırması için, öncelikle teknik sürece hâkim bir analist ve sorgulamaların yapıldığı alan ile ilgili gerekli bilgi birikimi ve deneyimi olan uzmanlara ihtiyaç duyulmaktadır. Analizi yapılacak olaylara dair değişkenlerin ya da ilgili olayların neden-sonuç ya da etki-tepki gibi birbirleri ile etkileşim içinde oldukları durumların sorgulanması ve çıkarımlanması gerekmektedir. Literatürdeki Bayes ağı kullanılarak yapılmış çalışmalarda uzman yargılarından kısmi olarak yararlanan (Tong ve diğ., 2018; Tang ve diğ., 2016; Lee ve Lee, 2006; Zhang ve diğ., 2018; Baksh ve diğ., 2018; Jones ve diğ., 2010) ya da tüm Bayes Ağı Analizi'ni sübjektif görüşleri esas alarak yapmış (Wu ve diğ., 2017; Chin ve diğ., 2009) pek çok çalışma vardır.

Bayes ağı yapılandırılması için ilk adım olan değişkenlerin belirlenmesi, pek çok belirleme içerir. Bayes ağlarında bulunan değişkenler üst olay, ara olaylar ve kök nedenler olarak 3 katman halinde bulunurlar:

3.2.1 Üst olay belirleme

Bayes Ağı Analizi kapsamı ve amacının belirlenmesinin ardından ağ yapılandırmasının ilk aşaması üst olay belirlemedir. Üst olay, Bayes ağında incelenecek ana olayı ifade etmektedir ve alan uzmanlarıyla birlikte uzlaşık bir şekilde kapsamlı bir şekilde tanımlanmalıdır. Üst olay herhangi bir ebeveyne sahip olmayan

olay olup, ağda sunulan tüm nesillerin atasıdır. Üst olay tanımlamasının, analist ve uzmanlarla fikir birliği içerisinde ve detaylı yapılması ağ analizinin sağlıklı yapılabilmesi için önemlidir. Bayes ağlarında üst olay, kimi zaman nükleer santraldeki bir sızıntı (Lee ve Lee, 2006), geminin karaya oturması (Aktar ve Utne, 2014; Baksh ve diğ., 2018), gemilerin çarpışması (Afenyo ve diğ., 2017; Zhang ve diğ., 2018; Baksh ve diğ., 2018), ırmak üzerindeki bir köprü üzerinde tehlikeli madde taşıyan bir kamyonun devrilerek ırmağı kirletmesi (Tang ve diğ., 2016) olarak ifade edilen anlık ortaya çıkan kazalar olurken, kimi zaman da tedarik zinciri faaliyetlerinde başarısızlık (Garvey ve diğ., 2015) ya da süreçsel problemler (Jones ve diğ., 2010) de olabilmektedir.

3.2.2 Ara olayların belirlenmesi

Ağda ele alınan üst olayın tanımlanmasının ardından, olayın meydana gelmesinde etkili olayların haritalanması sağlanır. Olay haritalarında en fazla eleman ara olaylarda bulunur. Ara olaylar, Bayes ağlarında üst olay olarak tanımlanmış değişkenlerin çocuk değişkenleridir. Ara olay katmanları arttıkça, çocukların da çocuklarının var olması ile ağ içindeki nesil elemanları artmaktadır.

Ara olayların tanımlanması için, ana olaya dair nedensel sorgulamalar yapılır. Bunun için Bayes ağları analisti ile problem alanı konusu uzmanlarının bir arada çalışması gerekmektedir. Ele alınacak problemle ilgili mümkün olduğunca büyük ölçekli veri kaynaklarına ulaşılabilirliğin sağlanması, uzman yargılarının şekillenmesinde önemli avantaj sağlayacaktır. İncelenilen olay, literatürde daha önce ele alınmış bir olaysa, geçmiş çalışmalar incelenir. Ama ne olursa olsun, üst olayın meydana gelmesindeki etkin olaylar, alan uzmanlarının sunacağı bilgiler ışığında ortaya çıkar. Sorgulamalar için aşağıdaki iki nedensel çıkarım türünden yararlanılır (Lee ve Lee, 2006):

1. Tanısal nedensellik-Etkilerin gözlenmesi: Verilen bir modelin etkilerini gözlemlemek ve nedenleri hesaplamaya çalışmak (Geriye dönük neden belirleme).

2. Tahmin edici nedensellik- Kök nedenlerin gözlenmesi: Verilen bir modelde kök nedenleri gözlemek ve tahminsel çıkarımla etkiyi tahmin etmeye çalışmak (İleriye doğru etki tahmin etme).

Ana olayın meydana gelmesine dair nedensel sorgulamalar gerek yazılı gerek ikili mülakatlar gerekse de grup görüşmeleri ile gerçekleştirilir. İlgili sorgulamalarla, olayların meydana gelmelerinde etkili nedenler çıkarımlanır ve zincir ilişkisi, ortak

neden ya da ortak etki ilişkisi oluşturacak şekilde nedensel birleşimler ara olaylar olarak ağa yansıtılır. Ara olaylar ağ içinde, bazı olaylara dair çocuk düğüm, bazı olaylara dair de ebeveyn düğümdür. Ara olay olarak ağa yansıtılan katmanların sayısı, olayların doğasına ve analiz kapsamında belirtilen sınırlara göre uzman ve analist iş birliğiyle belirlenir. Örneğin çeşitli çalışmalarda, gemi çarpışma kazalarının ara olayları 'gemilerin yanlış manevraları' (Zhang ve diğ., 2018) ve geminin karaya oturma kazasının ara olayları da 'yanlış pozisyon, dönmeme, kıyıya yönelme ve sürüklenmek' (Akhtar ve Utne, 2014) şeklinde ilerlerken, maden gaz patlamaları üst olayının ara olayları da 'ateşleme, gaz birikmesi ve oksijen' (Tong ve diğ., 2018) olarak oluşturulmuştur.

3.2.3 Kök nedenlerin belirlenmesi

Olayların meydana gelişlerine dair yapılan nedensel incelemelerle, analiz kapsamına göre ya da tespit edilebildiği ölçüde olayların kök nedenleri belirlenmektedir. Kök nedenler, ağdaki nesillerin en genç elemanlarıdır. Ara olayların çocuk değişkenleri olup, kendilerinin çocuk değişkenleri yoktur. Kök nedenlerin belirlenmesi, incelenen olay hakkındaki en temel tanımlamaların yapılmasını sağlar. Kök nedenlerin tespiti risk analizinin en değerli çıktılarındandır. Çünkü var olan problemin ortadan kaldırılması ancak, nedenlerinin ortadan kaldırılmasıyla mümkün olacaktır. Dolayısıyla problemlere dair kök nedenler tespit edilerek, olaylara oluşum aşamasında müdahale etmek mümkün olabilecektir. Bir madendeki gaz patlaması için kök nedenler, 'kömür damarının türü, ateşleme, boru hatlarından sızıntı ve havalandırma sistemi ile ilgili unsurlar' olurken (Tong ve diğ., 2018), yeni ürün geliştirme projeleri riskleri için de 'ürün tasarımının karmaşıklığı, rakip ürünler, yenilik düzeyi, tedarikçi performansı ve üretim süreçleri ile ilgili unsurlar' olmaktadır (Chin ve diğ., 2009). Gemilerin çarpışma kazalarının konu alındığı Zhang ve diğ. (2018) çalışmasında, 'hava şartları, saat, güvenlik kültürü, gemiler arasındaki iletişim ve karşılaşılan geminin büyüklüğü' kök nedenler olarak belirtilirken, bir köprü üzerinde meydana gelebilecek kamyon kazası riskinin araştırıldığı Tang ve diğ. (2016)'nın çalışmasında ise, 'kamyonun türü, kamyonun şartları, sürücünün yaşı, cinsiyeti, görüş ve hava şartları' kök neden olarak sunulmuştur.

Bayes ağının yapılandırılması için öncelikle incelenen ana olay tanımlanır ve ağın oluşturulması için veri kaynağının ulaşılabilirliği sağlanır. Bayes ağlarının en önemli

özelliklerinden olan ele alınan tüm olayların değişken olarak tanımlanıp, bu değişkenlerin alabileceği farklı değerlerin ele alınabilmesidir. Böylelikle değişkenler arasındaki sebepsel ilişkiler çıkarımlanırken, olayların farklı durumları da göz önüne alınabileceği için, dinamik ve kapsamlı bir analiz yapılması sağlanacaktır.

Bayes ağları yapılandırması için gerekli nedensel ilişkilerin ortaya çıkartılmasında, risk kaynağı denetleme tablosu ve uzman sorgulama metotları olan beyin fırtınası, sübjektif skorlama metodu ve ekstrapolasyon metodu gibi çeşitli yöntemler vardır (Tang ve diğ., 2016). Fakat uzman yargıları ile yapılan Bayes ağları için çoğunlukla beyin fırtınası ve sübjektif skorlama metodundan yararlanılır. Alan uzmanlarından bilgi elde etmek maalesef çok zaman harcayıcı bir süreçtir ve dikkatlice gerçekleştirilmediği takdirde, zayıf kalitede grafiksel modeller sunacaktır (Wang, 2004). Uzman yargılarından bilgi çıkarımlama konusu, metodoloji bölümünde kapsamlı olarak ele alınmıştır.

Dolayısıyla Bayes ağları, uzman yargıları kullanarak sebepsel ilişkilerin ve bağımlılıkların ele alındığı nedensel modellerle risk analizi yapar ve bu süreçte mücadele edilen en önemli unsur olan belirsizliğin ortadan kaldırılmasını sağlar (Langseth ve Portinale, 2007). Olaylarla ilişkili bu veri çıkarım süreçlerine, "bilgi mühendisliği" de denmektedir (Oniśko ve diğ., 2001).

3.3 Bayes Ağı Parametreleri

Bayes ağ yapılandırılmasının tamamlanması ile Bayes Ağları Analizi'nin niteliksel kısmı tamamlanmış olur. Oluşturulan Bayes ağı, incelenen olay ya da olaylara ilişkin tüm değişkenlerin, aralarındaki ilişkileriyle birlikte, kolayca anlaşılmasını ve etkili bir şekilde analiz edilmesini sağlar. Bayes ağlarında, değişkenler arasındaki ilişkilere dair belirsizlikler olasılık verileri kullanarak aşılır. Bu sebeple Bayes ağlarına, 'olasılık ağları' da denmektedir. Dolayısıyla olasılık ağları, olaylara dair belirsiz koşullar altında daha güvenilir çıkarımlar yapabilmek ve olaylarla ilgili etkin kararlar verebilmek için bağımlılık, bağımsızlık, duyarlılık, bilgi değeri çıkarımlama gibi pek çok ağ analizine imkân sağlamaktadır (Madsen ve Kjærulff, 2013).

Bayes ağı yapılandırılmasının ardından, ağın niceliksel temsilleri belirlenir. Bunun için değişkenlerin alabileceği değerler tanımlanır ve ilişkili olasılık parametreleri

belirlenmelidir. Ağ içindeki her değişkenin parametre tanımlamasının yapılması için, binomial, sürekli, kesikli gibi ifadelerinin ortaya çıkarılması gerekmektedir.

Bayes ağları nicel parametreleri, olaylara dair basit öncül olasılık dağılımları ve olaylar arasındaki ilişkileri ifade eden şartlı olasılık değerlerinden oluşur. Ebeveyni olmayan bir değişkenin durumları dışsal olarak ya da öncül olasılık dağılımları ile belirlenir. Her değişkenin farklı durumları da ebeveynlerinin durumlarına dair ilişkili bir olasılıksal ya da deterministik bir denklemle gösterilir (Steyver ve diğ., 2003). Madsen ve Kjærulff (2013) bir Bayes ağının sayısal ifadesini, belirli değişkenler ve parametreler üzerine kurulu ağ yapısı ile koşullu olasılık dağılımları kümesi olarak tanımlamışlardır.

Çalışmalarda kimi zaman belirli bileşenlerle ilişkili olasılık verileri doğrudan literatürden ya da veri bankalarından alınabilmektedir (Baksh ve diğ., 2018; Zhang ve diğ., 2018; Zarei ve diğ., 2017; Chen ve diğ., 2015; Lee ve Lee, 2006). Fakat her konunun, incelendiği alan ve bileşenlerine göre farklı özellikler ortaya çıkarabilmesi ve her analizin benzer alanlarda yapılmış çalışmalardan çok daha farklı hususlara sahip olabilmesi, her çalışma için değişkenlerin ve parametrelerinin mutlaka özenle ortaya çıkarılmasını gerektirir.

3.3.1 Öncül (marjinal) olasılıklar

Öncül olasılıklar adıyla da olayların belirsizliğine dair bugüne kadarki deneyimlerden ya da değişkenle ilgili elde edilmiş olan veriler üzerinden çıkarımlanan düşünceler olarak tanımlanırlar (Constantinou ve diğ., 2016). Olayın herhangi bir ek bilgiye sahip değilken ya da başka değişkenlerin etkisi altında kalmadan meydana gelmesi olasılığına, olayın ‘marjinal olasılığı’ ya da ‘öncül olasılığı’ denir.

Bayes ağlarındaki tüm değişkenlerin öncül olasılığı olabilir. Fakat, Bayes ağı kök nedenlerinin öncül olasılıklarının oldukça önemli iki işlevi vardır. Analizde ele alınan üst olay olasılığı bir karar verme probleminin girdisi olduğunda, kök neden olasılıkları, sonucu sayısal olarak doğrudan etkilerler. Bir üretim sisteminde darboğaz oluşturan bir makinenin arıza olasılığı (Jones ve diğ., 2010), yeni ürün geliştirme projesi riski (Chin ve diğ., 2009) ya da bir hastalığın tedavisi için önerilen bir yöntemin başarılı olma ihtimali (Van der Gaag ve diğ., 2002) gibi hayati ya da ekonomik olarak ciddi maliyetler yaratacak bir konuya dair yapılan risk analizlerinde, doğrudan ağ içindeki üst olay olasılığı ile ilgilenilir. Üst olayın gerçekleşme olasılığını ortaya çıkaran

başlangıç noktası olan kök nedenlere yapılacak öncül olasılık atamaları, üst olay olasılığının mevcut durumunu ortaya çıkarır. Bayes ağları kök nedenlerinin öncül olasılıklarının ikinci işlevi de ağ içindeki üst olayların nihai olasılık değerlerine olan etkilerinin belirlenmesi, diğer bir deyişle de girdi değişkenlerinin kritikliğini tanımlamak için duyarlılık analizlerinde kullanılabilirlikleridir (Baksh ve diğ., 2018; Zarei ve diğ., 2017; Kabir ve diğ., 2016; Hänninen ve Kujala, 2014). Duyarlılık analizleri ile, Bayes ağı içindeki hangi ana neden ya da nedenlerin, üst olaylar üzerindeki etkilerinin daha fazla olduğu görülebilmektedir.

Öncül olasılıkların belirlenmesi için literatürden, geçmiş verilerden ya da uzman yargılarından yararlanılır. Öncelikle değişkenle ilişkili geçmiş veriler varsa, değişkenin farklı değerlerine dair olasılıkları bu veriler aracılığıyla belirlenebilir. Chen ve diğ. (2015), belli bir rotadaki gemi kazalarını incelemek üzere oluşturdukları Bayes ağı çalışmasında, sınırlı sayıda veriye sahip olsa da marjinal olasılıkları geçmiş verilere dair yaptıkları çözümlemelerle belirlemişlerdir. Zhang ve diğ. (2018) ise gemi kazalarındaki belirsizlikleri ele aldıkları çalışmalarında kök nedenler ve öncül olasılıkları için hem uzman görüşlerinden hem de literatürden yararlanmışlardır.

Aşağıdaki Çizelge 3.2'de Zhang ve diğ. (2018)'in çalışmasında yer alan kök nedenler ve öncül olasılıkları verilmiştir. "Hava durumu, VTS (ilgili ekipman) varlığı, gemiler arası iletişim ve karşı karşıya kalınan geminin büyüklüğü" kök nedenlerinin olasılıkları literatürden edinilmiş olup, diğerleri de uzman kararları ile belirlenmiştir.

Çizelge 3.2 : Zhang ve diğ. (2018) çalışması kök nedenleri ve öncül olasılıkları.

Düğüm Adı	Öncül Olasılıkları
Gün içindeki zamanı	%50 gündüz, %50 gece
Hava durumu	%49 yağmurlu, %51 açık
VTS (ilgili ekipman) varlığı	%100 var, %0 yok
Gemiler arası iletişim	%30 var, %70 yok
Navigasyon karmaşıklığı	%80 yüksek, %20 düşük
Güvenlik kültürü	%50 iyi, %50 kötü
Karşı karşıya kalınan geminin büyüklüğü	%98 büyük, %2 küçük

Öncül olasılıkların, üst olaylara dair mevcut durumu ortaya çıkarmak üzere ve uzman yargıları ile belirlenmesi halinde de bulguların objektif olduğunu iddia etmek savunulası bir durum değildir. O'Hagan ve diğ. (2006) tarafından, uzmanların ve bilim insanlarının öncül olasılık belirlemeleri, Bayes istatistiğinde sübjektifliğin en fazla yer aldığı olgu olarak kabul edilmektedir. Jones ve diğ. (2010) bakım planlaması için arıza sıklığı ile ilgili risk analizi yaptıkları çalışmalarında, "operatör yeteneği" kök

nedenine, değişkenin sübjektif doğası gereği, birbiri ile eş deneyim ve bilgi düzeyine sahip 3 firma çalışanından oluşan uzman grubu tarafından marjinal olasılık atamaları yapılmıştır. Operatör yeteneğine "iyi, orta ve zayıf" durumları atanmış olup, marjinal olasılıkları da sırasıyla %90, %5 ve %5 olarak belirlenmiştir. Diğer bir deyişle, operatör performansının mevcut durumda %90 oranında iyi olduğunu, %10 oranında da yarı yarıya orta ve zayıf olabildiğini belirtmişlerdir. Uzman yargıları ile öncül olasılık belirlemelerinin yapıldığı Chin ve diğ. (2009)'nin çalışmasında ise, Bayes ağı içinde öncül olasılıkları belirlenmesi gereken çok fazla değişken olduğu için, süreci kolaylaştırmak adına öncül olasılıkların çıkarımını uzman görüşleriyle ve ikili karşılaştırmalar yöntemi kullanarak gerçekleştirmişlerdir.

3.3.2 Şartlı olasılık tabloları

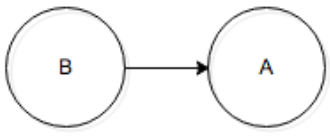
Bayes ağının yapılandırılmasıyla ortaya çıkan yönlendirilmiş grafik, ağın nitel kısmına dair belirleme yapılmasını sağlarken, ağın nicel yorumlaması ise, aynı zamanda değişkenlerin arasındaki ilişkilerin kuvvetlerini de belirleyen koşullu olasılık tablo değerleri ile yapılır.

Koşullu olasılık, etkileyen olayın gerçekleşmesi halinde, etkilenen olaya yansıyacak olan olasılıktır ve bir değişkenin ağ içinde çocuk düğüm olması halinde sahip olduğu olasılıktır (Jones ve diğ., 2010). Bayes ağlarında, kök neden haricindeki diğer tüm değişkenlerin şartlı olasılık tabloları vardır. Şartlı olasılıklar olaylar örneklendirildiğinde ya da kanıtlarla gösterildiğinde, ona bağlı olayların olasılıklarının güncellenmesi için kullanılırlar (Kevorkian, 2016).

Şartlı olasılık tablolarının oluşturulması için ilk sorgulanacak yöntem değişkenlere dair geçmiş verilerdir. Şartlı olasılık dağılımları eğer veriler aracılığıyla elde edilecekse, hesaplamalar için tam data setlerine ihtiyaç vardır. Veri miktarı çok olduğunda kaliteli ağlar kurulması mümkün olmasına rağmen, veri sayısı yeterli olmadığında eksik veri setleri güvenilir olmayan olasılık değerleri sunacaktır (Garvey ve diğ., 2015). Olasılık belirlemesi için istatistiksel olarak güvenilirliği sağlayacak çoklukta geçmiş verilere ulaşmanın ya da deney-gözlem gibi yöntemlerle veri elde etmenin zor ve maliyetli olduğu durumlarda, olasılık belirlemeleri için uzman yargılarından yararlanılacaktır. Değişkenler arasındaki ilişkilerin geçmiş veriler aracılığıyla belirlenemediği çalışmalar için alan uzmanları, çalışmaların temel veri kaynakları olmaktadır. Ne olursa olsun, veri eksikliği sebebiyle riskle ilişkili olayları

yapılandırmak ve analiz etmek için herhangi bir girişimde bulunmadan karar almaktansa, uzman yargılarıyla yapılan risk analizlerine bağlı kararlar almak doğru bir yaklaşım olarak kabul edilir (Nordgård ve Sand, 2010). Çok ciddi yatırımlarla yapılan uzay araştırmaları (Haimes, 2009), fabrikada darboğaz oluşturan bir makinenin arıza olasılığı (Jones ve diğ., 2010), ürün geliştirme projeleri içinden doğru projeyi seçebilmek için yapılan risk araştırmaları (Chin ve diğ., 2009), insanların temel ihtiyaçlarından olan elektrik dağıtım sistemlerine dair risk incelemeleri (Nordgård ve Sand, 2010) ve ölümcül hastalıklara dair yapılan medikal çalışmalar **(**Van der Gaag ve diğ., 2002) gibi hayati ya da maddi açıdan çok kritik durumlar yaratan alanlar kapsamında yapılan analizlerde uzman yargılarından yararlanılır. Gerek çoklu geçmiş verilerin var olmaması, gerekse de gözlem ve deney yoluyla veri üretmenin imkânsız olması sebebiyle risk analizinin hayati önem arz ettiği alanlarda uzman yargılarından yararlanmak kaçınılmazdır. Dolayısıyla, olasılık çıkarımlarını yansıtan şartlı olasılık tablosu değerleri, mümkünse geçmiş veri istatistiklerinden değilse alanla ilgili uzman yargılarından ya da simülasyonlar aracılığıyla belirlenir (Nordgård ve Sand, 2010). Chen ve diğ. (2015) ve Wu ve diğ. (2017) çalışmalarında, yeterli geçmiş veriye sahip olmadıkları için, ele aldıkları Bayes ağlarının şartlı olasılık tablo değerlerini anketler aracılığıyla uzman yargılarıyla toplayarak belirlemişlerdir.

Şekil 3.7'de belirtilen grafiksel gösterime ve geçmiş verilere göre, (+) ya da (–) olmak üzere iki değer alabilen A ve B olaylarından oluşan iki değişkenli olay çiftine dair şartlı olasılık tablosu oluşturma uygulaması aşağıdaki gibi olacaktır:



Olay çifti	Olasılığı
P(A+, B+)	0.2
P(A-, B+)	0.1
P(A+, B-)	0.3
P(A-, B-)	0.4

Şekil 3.7 : Şartlı olasılık tablosu çıkarımı için örnek ilişki.

A ve B olaylarına dair bileşik olasılık dağılımları, durum kombinasyonlarının ana kütleye oranlanması ile belirlendiğinden, A ve B olay çiftinin 10 kez gözlendiği durum için; (A+, B+) 2 kez, (A-, B+) 1 kez, (A+, B-) 3 kez ve (A-, B-) olay çiftinin ise toplam 4 kez gözlenmiş olduğu kabul edilebilir.

Bileşik olasılık dağılımı tablosundan, hem olayların hiçbir şarta bağlı olmayan öncül olasılıklarını, hem de şartlı olasılık değerlerini çıkarımlamak mümkündür. Öncül olasılık, olayın belli bir durumuna ilişkin yaşandığı olay çiftlerinin olasılıklarının

toplanmasıyla, şartlı olasılık değerleri de bir nedene bağlı gerçekleşen olay uzayı bilindiği takdirde, gerçekleşen olayın tüm şartlı olasılıklarının toplamının 1 olması kuralı aracılığıyla belirlenir. Örneğin, Şekil 3.7'de görüldüğü gibi, B olayı hangi değeri alırsa alsın, A olayının A+ ya da A- olarak gözlendiği bilinmektedir. Bu durumda P(A+|B) ile P(A-|B) şartlı olasılık değerleri toplamı 1'e eşit olacaktır. Buna göre, B olayının B+ olduğu durumda A olayının kaç kez A+ ve A- değeri aldığının çıkarımlanması ve normalizasyon yapılması sağlanarak şartlı olasılık değerleri tespit edilebilir. Aynı şekilde B olayının B- olduğu durum için de A olayının hangi değeri kaç kez aldığı çıkarımlanıp normalizasyon uygulamasının yapılması ile Çizelge 3.3'teki şartlı olasılık değerlerine ulaşılacaktır:

Çizelge 3.3 : Bileşik olasılık tablosundan şartlı ve öncül olasılık çıkarımı.

Şartlı Olasılık Tablosu		Öncül Olasılık Değerleri	
P(A+|B+)	0.666	P(A+)	0.5
P(A-|B+)	0.334	P(A-)	0.5
P(A+|B-)	0.43	P(B+)	0.3
P(A-|B-)	0.57	P(B-)	0.7

Ancak bilinmelidir ki, şartlı olasılık tablo değerleri değişken ve değişkene bağlı alt-durum sayısı arttıkça üssel olarak artmaktadır. Dolayısıyla, A olayının bir önceki örnekte verildiği gibi bir değil, B1 ve B2 olarak, iki ebeveyni olsaydı, şartlı olasılık tablosu da Çizelge 3.4'te gösterildiği gibi 8 hücreli olacaktır.

Çizelge 3.4 : İki ebeveynli A değişkenin şartlı olasılık tablosu.

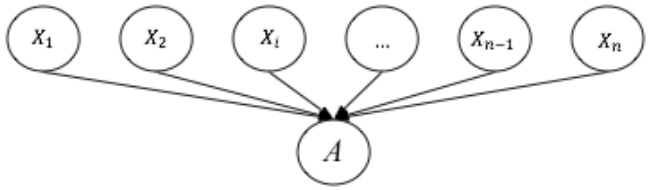
B1	B2	A	P(A|B1,B2)
+	+	+	…
+	+	-	…
+	-	+	…
+	-	-	…
-	+	+	…
-	+	-	…
-	-	+	…
-	-	-	…

Mevcut veri setleri, Bayes ağlarını parametreleştirmek için gereken bilgi mühendisliği çabalarını önemli ölçüde azaltır. Fakat olasılık çıkarımı için verilerin yetersiz olması halinde, Noisy-OR (Gürültülü-VEYA) ya da Noisy-AND (Gürültülü-VE) kapıları kullanılarak şartlı olasılıkların belirlenmesi sağlanabilir. Kesikli olay birleşimlerinde kullanılabilen Gürültülü-VEYA, bir kanonik dağılım (parametrikleştirilmiş dağılım)

oluşturulmasıdır. Gürültülü-VEYA kapısı mantıksal ‘VEYA’ yapısı ile, Gürültülü-VE kapısı ise mantıksal ‘VE’ yapısı ile çalışmaktadır.

Gürültülü-VEYA bir değişkene ortak etki bağıyla bağlı ve birbirinden bağımsız olan çeşitli faktörlerin ebeveyn olduğu bir ağ yapısında, etkilenen değişkenin aktif olması için herhangi bir etki faktörünün aktif olmasının yeterli olduğu yapıdır. Gürültülü-VEYA geçitleri, Bayes ağlarında, mevcut bir ağ yapısı bilinen küçük veri kümelerinden şartlı olasılık tablo değerlerinin öğrenilmesini sağlar (Oniśko ve diğ., 2001). Çoklu ebeveyni olan bir değişkenin ebeveynlerine bağlı şartlı olasılık bilgilerinin kısıtlı olduğu durumlarda, şartlı olasılık tablosunun tamamını çıkarımlamak için kullanılır.

Şekil 3.8’de gösterilen, X_i faktörlerinin etki altında bıraktığı A değişkeninin, X_i faktörlerine bağlı şartlı olasılık tablosu için gerekli istatistiksel ifadeler, denklem 3.22’de görüldüğü gibi olacaktır.



Şekil 3.8 : X_i faktörlerinden etkilenen A değişkeni

X faktörlerinin her birinin farklı durumlarının kombinasyonlarını ayrı ayrı tespit etmek yerine, Gürültülü-VEYA yapısının kullanımı yerinde bir yaklaşımdır. Öncelikle her bir X_i ebeveyninin tek başına, A değişkenine olan etkisinin belirlenmesi gerekir. Normalde ebeveyn sayısına bağlı olarak üssel artan sayıda olasılık ataması yapılması gerekirken, ebeveynlerin birbirlerinden bağımsız olması şartıyla uygulanan Gürültülü-VEYA modeli ile ebeveyn sayısı kadar atama yapmak yeterli olmaktadır (Bobbio ve diğ., 2001).

$$p_i = P(A|\bar{X}_1, \bar{X}_2, \dots, X_i, \dots, \bar{X}_{n-1}, \bar{X}_n) \tag{3.22}$$

A değişkenini etkileyen i adet faktörün her birinin tek başına gerçekleşmesi halindeki A olayının gerçekleşme olasılıkları, denklem 3.22’de ifade edildiği gibi gösterilir. Daha sonra, X_S ile gösterilen, X_i faktörlerinin çeşitli durum kombinasyonlarını ifade eden şartlar altında, A’nın gerçekleşme olasılığı, denklem 3.23’de gösterildiği şekilde kolaylıkla tespit edilebilir.

$$P(A|X_S) = 1 - \prod_{i:X_i \in X_S} (1 - p_i) \tag{3.23}$$

Denklem 3.24'te de gösterildiği gibi, A değişkeninin, hiçbir etki faktörü aktif değilken, "kaçak olasılık" adı verilen gerçekleşme olasılığının araştırılması gerekir. Diğer bir ifadeyle, p_0 A değişkeninin kendiliğinden, yani açıkça modellenen sebeplerin hiçbiri yokken meydana gelme olasılığını temsil etmektedir. Bu kaçak değişkenin olduğu Gürültülü-VEYA kapılarına, Sızıntılı Gürültülü-VEYA kapısı da denir (Kraaijeveld ve diğ., 2005).

$$p_0 = P(A|\bar{X}_1, \bar{X}_2, \ldots, \bar{X}_n) \tag{3.24}$$

Gürültülü-VEYA kapıları, 'nedenlerin olumsuzluğunun VEYA kapısı' olarak ifade edilebilir. Diğer bir deyişle, her bir ebeveynin diğer ebeveynlerden bağımsız olarak düğümü etkilememe gücü belirlenir ve ebeveynlerin, değişken üzerindeki bu etkilememe değerlerinin çarpımı, değişkenin ilgili şartlar altında gerçekleşmeme olasılığını verecektir. Çizelge 3.5'te, X düğümüne etki eden üç ebeveyn A, B, C'nin aktif ve pasif olmaları halinde X değişkeni üzerindeki şartlı olasılık bilgileri, Gürültülü-VEYA yöntemini kullanabilmek için örnek alınmıştır.

Çizelge 3.5 : Gürültülü-Veya için örnek kısmi şartlı olasılık tablosu.

A	B	C	P(X)
Pasif	Pasif	Pasif	0
Aktif	Pasif	Pasif	0.7
Pasif	Aktif	Pasif	0.8
Pasif	Pasif	Aktif	0.9

Her ebeveynin X değişkeninin etkilememe güçleri, A ebeveyni için 1-0.7=0.3; B ebeveyni için 1-0.8=0.2 ve C ebeveyni için 1-0.9=0.1 olarak tespit edilir.

A ve B ebeveynlerinin X değişkenini etkileyememe değeri 0.3*0.2=0.06 olduğu belirlenip, A ve B ebeveyninin aktif, C ebeveyninin pasif olması halinde X değişkeninin gerçekleşme olasılığının da 1-0.06=0.94 olduğuna karar verilir. Buna göre tamamlanmış şartlı olasılık tablosu Çizelge 3.6'da görüldüğü gibi olacaktır.

Oniska ve diğ. (2001), Noisy-OR metodunu karaciğer bozuklukları tanısı koyabilmek için oluşturduğu modelinde, az sayıdaki hasta kayıtlarında kullanmışlar ve diğer modellerden daha iyi sonuç almışlardır. Geçmiş datalar, şartlı olasılık hücre

değerlerini belirleyebilecek kadar çoklu olmadığından, Noisy-OR kullanarak parametreleri tahmin etmenin, az sayıdaki verilerden olasılık çıkarımlamaktan daha iyi bir yaklaşım olduğunu düşünülür (Oniśko ve diğ., 2001). Noisy-OR kapıları, Bayes Ağlarında, 0-1 binary değişkenler olması halinde sıkça kullanılabilir.

Çizelge 3.6 : Noisy-OR için örnek tamamlanmış şartlı olasılık tablosu.

A	B	C	P(X)
Pasif	Pasif	Pasif	0
Aktif	Pasif	Pasif	0.7
Pasif	Aktif	Pasif	0.8
Pasif	Pasif	Aktif	0.9
Aktif	Aktif	Pasif	1-(0.3*0.2)=0.94
Aktif	Pasif	Aktif	1-(0.3*0.1)=0.97
Pasif	Aktif	Aktif	1-(0.2*0.1)=0.98
Aktif	Aktif	Aktif	1-(0.3*0.2*0.1)=0.994

Noisy-OR kapıları, Bayes ağlarında yalnızca değişkenin iki duruma sahip olması halinde kullanılabilir. Çoklu durumlu değişkenler içinse genişletilmiş hali olan Gürültülü-MAX kapısı kullanılır (Kraaijeveld ve diğ., 2005). Bir olaya bağlı çoklu olay olması halinde şartlı olasılıkları belirlerken, bu kapı yapısını kullanan çalışmalar da vardır (Akhtar ve Utne, 2014). Gürültülü-MAX, daha az sayıda koşullu olasılık hesaba katar ve şartlı olasılık tablosunda "diğer etkileri" yakalayan 'kaçak-leak' faktörünü getirerek bilgi kaybını da telafi eder. Gürültülü-MAX düğümleri pratik mühendislik uygulamalarında yaygın olarak kullanılmaktadır (Pearl, 1988).

Gürültülü-VE kapısı ise, Gürültülü-VEYA kapısındaki kaçak olasılık değeri gibi, "VE" mantığı ile bir değişkeni etkileyen faktörlerin her birinin aktif olmasına gerek olmadan da değişkenin aktif olabilmesine imkân sağlayan özel bir duruma sahiptir (Bobbio ve diğ., 2001).

Gürültülü-VEYA ve Gürültülü-MAX kapılarını kullanmak sadece gereken şartlı olasılık hücre sayılarını azaltmaz, tanısal performansı da arttırır. Araştırmalar Gürültülü-MAX kapıları ile pratik modeller içindeki pek çok etkileşimin yaklaşık olarak değerlendirilebileceğini göstermiştir (Kraaijeveld ve diğ., 2005).

3.4 Bayes Ağları Hesaplamaları

Bayes ağları, bir olay hakkındaki öncül inanışımızı, başka bilgiler kullanarak güncellememizi ve sonraki-güncel inanışımızı oluşturmamızı sağlar. Diğer bir deyişle,

bir olay hakkında öncül bir inanışımız vardır, başka dataları kullanarak olay hakkındaki bilgimizi güncelleriz ve sonraki inanışımız olarak tanımlarız.

Nedensellik süreçleri doğru kanıtlarla izlendiği takdirde, Bayes ağı, sorgulanan değişkenlerin belirsizlik yayılımını gerçekleştirmek için temel sağlar (Lee ve Lee, 2006). Belirsizlik yayılımını aktaran kanıtlara bağlı şartlı olasılık bilgilerinin elde edilmesiyle, kanıtlardan etkilenen tüm değişkenlere dair sorgulamalar yapılabilir. Bu sorgulamalar yapılırken, Bayes ağlarında nedensel ilişkilerin gücünü gösterir yerel şartlı olasılıkların yanında, şartlı bağımsızlıklardan da yararlanılır. Ağ içinde, şartlı gerçekleşen olayları ifade eden kök nedenler haricindeki diğer tüm olaylar, ebeveynlerin durumlarına bağlıdır. Dolayısıyla, Bayes ağlarının amacı olan karmaşık ön koşullara bağlı olarak ortaya çıkan olayların gerçekleşme olasılıklarına yönelik yapılan araştırmalarda, şartlı olasılıklar kadar, şartlı bağımsızlıklar da çok önemlidir. Çünkü, bir değişkenin ebeveyni hakkında bir bilgi verilmişse, o değişkenle ilgili çıkarım yapmak için başka bir değişkene ihtiyaç kalmayacaktır. Dolayısıyla, ebeveyni verilen ya da bilinen bir değişkenin hangi değişkenlerle (şartlı olarak) bağımsızlık ilişkisinin olduğunun bilinmesi, belirsizlik yayılımı içindeki olayların olasılık hesaplamalarında önemli bir temel oluşturur.

Bayes ağları için yapılan hesaplamalar, hiçbir şarta bağlı olmayan P(X) olay öncül olasılıklarını, belli şartlara bağlı olarak gerçekleşen olayların P(A|X,Y,….) şartlı olasılıklarını ve bir takım ön koşulların akabinde gerçekleşmiş bir olayın hangi olay ya da olaylar sebebiyle gerçekleştiğini gösteren P(X,Y,..... |A) soncul olasılıkların araştırılması üzerinedir.

3.4.1 İleriye doğru sorgulama

Bayes ağları için ileriye doğru sorgulama, kök nedenlerden ana olaya doğru olay olasılıklarının hesaplanmasıdır. Jones ve diğ. (2010) tarafından, Bayes ağları modellemesi rassal bir olayın şartlı ve marjinal olasılıklarını hesaplayan basit bir matematiksel formül olarak ifade edilmiştir. Dolayısıyla Bayes ağlarında hangi türde hesaplama yapılırsa yapılsın, ya belli bir olayın olası durumlarına dair olasılık tahminlemesi yapılıyor ya da bir olayın gerçekleşmesi halinde hangi neden ya da nedenlerden meydana gelmiş olabileceği şartlı olasılık hesaplamaları ile çıkarımlanmaya çalışılıyordur.

Bayes ağlarında bağımsızlık ilişkileri konu başlığı altında anlatıldığı gibi, her değişken yalnızca ebeveyn değişkeninden etkilenir (denklem 3.9), diğer bir deyişle yalnızca kendi soyundan gelen bilgilere bağlı değişkenlik gösterir. Dolayısıyla, hesaplamalar yapılırken, olaylar arasındaki $(x \perp\!\!\!\perp y|z)$ notasyonu ile ifade edilen şartlı bağımsızlık durumlarını gözlemleyebilmek ve bağımlılık ve bağımsızlık ilişkilerini ele alarak Markov süreçlerine uygun hesaplamalar yapmak gerekir. Çünkü nedensel ilişkilerle kurulan güvenilirlik incelemesi yapılan modeller ya hata ağacı gibi alt-olayların birleşimsel kombinasyonlarını ele alan modeller olarak ele alınır, ya da durum uzaylarını ele alan Markov zincirleri gibi sistem içindeki karmaşık etkileşimlere de izin veren modellerce ele alınır. Bayes ağları da bir Markov zincirleri sunumu olduğu için, bağımsızlık varsayımları büyük bir hesaplama kolaylığı sağlar (Weber ve Simon, 2016).

Bayes ağlarında bağımlılık ve bağımsızlık ilişkilerinin belirlenebilmesinden sonra, çoklu olayların bir arada yaşanma olasılığı gözlemlenmek isteniyorsa, zincir kuralı ve ağ içindeki ebeveyn bağımlılığı ve şartlı bağımsızlıklar dikkate alınarak denklem 3.10'da gösterilen bileşik olasılık hesaplamaları yapılır. Bileşik olasılık hesaplamaları, içinde nedensel Markov şartlarını içerir. Markov koşulu, nedensel çıkarım için birçok algoritmanın temelini oluşturmaktadır ve her değişkenin durumu, kendi neslinden olmayan değişkenlerden bağımsızdır (Steyvers ve diğ., 2003).

N değişken bulunan bir Bayes ağında, belirli n1 ve n2 iki değişkenin, belirli değerler altındaki bileşik olasılığının bulunması için, ilgili iki değişkenle ebeveynlik ilişkisi ile birbirine bağlı olan diğer tüm değişkenlerin alabilecekleri tüm değerlerin göz önüne alınması gerekir. Belirli değerlere sahip iki değişkenin, diğer değişkenlerin olabilecek tüm değer kombinasyonlarıyla birlikte ortaya çıkan gerçekleşme olasılıklarının toplamı, n1 ve n2 sabit değerli değişkenlerinin o ağ içindeki bileşik olasılık değeridir. Dolayısıyla bileşik olasılık sorgulamasında yalnızca bağımlılık ilişkileri hesaba katılır ve ağ içinde bu değişkenlerden bağımsız olan diğer tüm değişkenler hesaplamalara dahil edilmedikleri için, hesaplama açısından büyük kazanç yaratırlar.

Şartlı olasılık hesaplamaları ile bileşik olasılık hesaplamaları bir arada gerçekleştirilir. Örneğin, bir ağ içinde herhangi iki değişkenin (a ve b değişkenleri) verilmiş olması halinde, üçüncü bir değişkenin (c değişkeni) belli bir değeri alma olasılığının belirlenebilmesi için hem tüm değişkenlerin hem de ilk iki değişkenin bileşik olasılık değerlerinin bulunması ve oranlanması gerekir (denklem 3.25).

$$P(c \mid a,b) = \frac{P(c,a,b)}{P(a,b)} \tag{3.25}$$

Belli bir şarta bağlı bir değişkenin alabileceği tüm değerleri alma olasılıkları P(Y|x) toplamı 1 olurken, bir değişkenin tüm değerleri geçerli olma şartıyla belli bir değerdeki tek bir değişkenin gözlenmesi olasılıklarının toplamının bilinemeyeceği bilinmelidir.

3.4.2 Geriye doğru sorgulama

Bayes ağlarında geriye doğru sorgulama, olayların soncul olasılıklarının hesaplanmasıdır. Soncul olasılık, nedensel çıkarımlar için birçok algoritmanın temelini oluşturan Markov prensibinden yararlanan Bayes ağlarının önemli çıktılarındandır ve belli bir olayın meydana gelmesi halinde, olayın ilgili ebeveynden olma olasılığını sunar. Gözlemlenen verilerden, veriyi yaratması muhtemel nedensel yapıya-geriye doğru sebepleri ortaya çıkarmak için kullanılır. İlgili ebeveyn düğümünün "soncul olasılığı" olarak adlandırılır.

Soncul olasılık, Bayes Teorisi ile yeni gelen bilgiler ışığında, olay olasılıklarına dair önemli bir bilgi güncellemesi olarak kabul edilebilir ve ebeveyn düğümlere dair sahip olunan öncül olasılıklardan daha fazla bilgi sunar. Çünkü soncul olasılık olayın meydana gelişindeki gerçek gücü yansıtır ve ebeveynler ve olay arasındaki ilişkideki belirsizliğin azalmasını, olayın gerçekleşmesine neden olan değişkenlere dair spesifik karakteristiklerin tanımlanmasını sağlar.

Ağdaki değişkenlere dair ilgili yeni bir bilgiye ulaşıldığında, buna Bayes sorgulamasında gözlenen değişken olarak "kanıt" adı verilir. Ortaya çıkan bu kanıtla ilişkili değişkenlere dair hesaplanan soncul olasılıklar, risk analizinde önemli bir esastır. Bir olaya dair ortaya çıkan belirli bir etkinin hangi sebepten meydana gelmiş olabileceğine dair, istenilen tüm sebepler üzerine olasılıksal incelemeler sunar.

Soncul olasılık için tersine sorgulanan şartlı olasılık ifadesini kullanmak mümkündür. Çıkarımı için de şartlı olasılık hesaplamasından yararlanılacaktır. Örneğin, A olayının yaşanmasına neden olan çeşitli X olaylarına dair soncul olasılık hesaplamaları olasılıksal olarak p(X|A) olarak ifade edilir. Diğer bir deyişle, X olaylarının soncul olasılıkları, A olayının çeşitli X olayları içinden hangisi sebepli gerçekleşmiş olabileceğine dair olasılıklarını verir. Bu yüzden p(X|A) değeri, denklem 3.26'da da görüldüğü gibi, X ve A olayının bileşik olasılığı ile A olayının marjinal olasılığının

oranlanması ile belirlenecektir. Marjinal olasılık, bir olayın diğer tüm nedenlere bağlı şartlı olasılıklarının toplamı olduğu için, X olayının soncul olasılığı, 'X ve A olaylarının bileşik olasılığı' ile 'A olayının tüm X'lere bağlı gerçekleşme olasılıklarının toplamı' değerlerinin oranlanmasını gerektirir.

$$P(X \mid A) = \frac{P(X, A)}{P(A)} = \frac{P(X, A)}{\sum_{X} P(X, A)} \tag{3.26}$$

Soncul olasılıkların bulunması ile, risk analizi yapılmasının temel nedeni olan ve "ana olay" olarak ifade edilen istenmeyen olaylara dair çok önemli bulgular elde edilir. Ana olayların Bayes ağları ile incelenmelerindeki esas amaç, istenmeyen olaya neden olan kök nedenlerin ve ara nedenlerin tespit edilmesi ve bu nedenlerin ana olayın gerçekleşmesindeki rollerine göre risk önleyici eylem kararlarının alınmasında veri kaynağı olarak kullanılmasıdır. Dolayısıyla, risk analizinin esas amacına hizmet eden soncul olasılıklar ile her türlü temel neden kombinasyonlarının, ana olayın gerçekleşmesindeki olası payları karşılaştırmalı olarak incelenebilir.

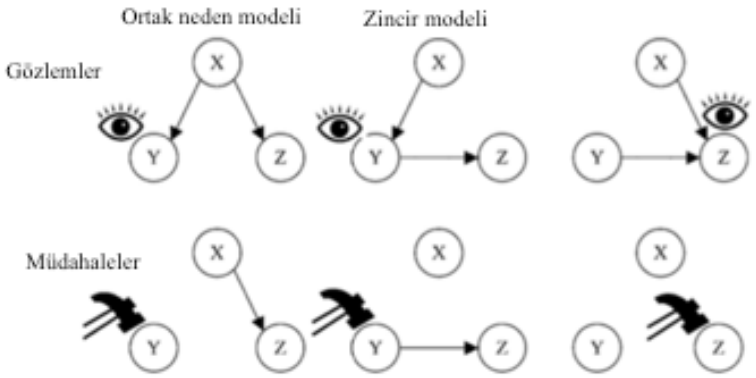
3.5 Bayes Ağlarında Müdahale (Interventional Analysis) ve Risk Kontrol Seçenekleri

Bayes ağlarında müdahale ya da risk kontrol seçeneklerinin oluşturulması, Bayes sistemine dışarıdan yeni bir değişken eklentisiyle ya da yeni bir bağlantıyla müdahale yapılmasıdır. Özellikle endüstriyel sistemlerde, verimliliği yükseltmek, hataları ortadan kaldırmak, kaliteyi arttırmak vb. pek çok sebeple, mühendislerce pek çok sistem müdahalesi yapılır. Bu müdahale kimi zaman seri üretim hattı çalışanlarının hata yapmasını önleyici bir düzenek oluşturmakken, kimi zaman dar boğazın yaşandığı bir üretim noktasında kapasite arttırıcı yeni bir teçhizat alımıdır. Hayati önem taşıyan sistemlerde güvenlik düzeyini arttırmak için çeşitli müdahalelerle, istenmeyen olayları önlemek ve olası kaza şiddetlerini azaltmak üzerine çözümler aranır. Örneğin, tehlikeli atık bertaraf sistemlerinde olası tehlikeli sızıntıları geri dönüşü olmayacak boyutlara gelmeden önleyebilmek için sensör sistemlerinden yararlanılması ve çalışanların kişisel koruyucu donanımlarının (KKD) kalitesinin arttırılması ilgili risk sistemine yapılan müdahalelerdir. Hastalıklara karşı direnç arttırıcı aşılar ve vitamin alımı gibi önleyici tedbirler ile hastalık sonrası alınan ilaçlar da insan bedenine sağlık sebepli yapılan müdahalelerdir. İstenmeyen olayı önlemek ya da şiddetini azaltmak adına

sistemin hangi aşamasına yönelik olursa olsun yapılabilecek her türlü eklenti ya da değişiklik 'sistem müdahalesi' olarak kabul edilebilir. Risk analizlerinde müdahale unsurlarına 'risk kontrol seçenekleri' adı da verilir (Hänninen ve diğ., 2014a; Hosack ve diğ., 2017; Zhang ve diğ., 2018).

Müdahaleler, karar vericiye kararları ya da olayları modelleme imkânı sağlar ve istenen çıktı değişkenlerine yönelik etkilerinin belirlenmesine izin verir. İçinde pek çok neden sonuç ilişkisinin yer aldığı Bayes ağları, sistem üzerinde gözlenmek istenen pek çok müdahaleye elverişlidir. İlişkili olarak, Constantinou ve diğ. (2016) de çalışmalarında, Bayes Teoremi ile ele alınabilen her etkinin müdahale olarak yorumlanabileceğini belirtmişlerdir.

Bayes ağlarında müdahale olarak ele alınan değişken, olay döngüleri içinde meydana gelmiş olma şartı taşımaz. Böylelikle müdahaleler manipüle edilen olayın değerini düzelten/değiştiren harici bir bağımsız sebep gibi ele alınmalıdır. Böylelikle, gözlemsel tahminler orijinal nedensel grafiğe dayanırken, manipüle edilmiş grafikler de girişimsel tahminler sunar (Hagmayer ve diğ., 2007). Müdahaleli grafiklerin, müdahale değişkenine işaret eden nedensel bağlantıların çıkarılmasıyla oluşturulduğu Şekil 3.9'daki gibi gösterilmiştir.



Şekil 3.9 : Bayes ağları nedensel yapılar içinde gözlemler ve müdahaleler, Hagmayer ve diğ. (2007)'den uyarlanmıştır.

Bayes ağları yaklaşımı, risk yönetimi için müdahalelerle özel risk faktörlerinin hedef alınmasına izin verir. Gözlemlenmemiş kanıtlara dayanarak, tahmin doğruluğunun ötesine geçen ve risk yönetimi ile karar desteğinin iyileştirilmesini sağlayan analizlere imkân sağlar (Constantinou ve diğ., 2016).

Steyvers ve diğ. (2003), insanların nedensel yapı çıkarımını gözlemler ve müdahaleler aracılığıyla bilişsel olarak ele alan çalışmalarında, istatistiksel gözlemlere dayanan bir

sistem içinde bilgi müdahalelerinin nasıl seçildiğini araştırmışlardır. Sistem içindeki bazı değişkenleri kontrol edip, bu değişkenlerin diğer değişkenler üzerindeki etkilerini gözlemleyerek ve dataları müdahaleli bir yaklaşımla analiz ederek, müdahalelerin farklı seviyelerde bilgi çıkarımı sunabildiklerini belirtmişlerdir. Bu yüzden, sistem içerisinde hangi noktaların kontrol altına alınarak, hangi noktalara müdahale edileceğinin tespiti, analiz için önemli bir başlangıç noktasıdır.

Jones ve diğ. (2010), üretim sistemi içindeki bir parçanın arıza sıklığını Bayes ağları ile ele almışlar ve arıza sıklığını etkileyen her faktörü kapsamlı bir şekilde araştırmışlardır. Faktörlerin farklı koşullar altında etkilerinin farklı olabileceği öne sürülerek, insanla ilişkili faktörlerin sistemin insan etkileşimi ile olan yoğunluğuna göre farklı önem seviyeleri sunacağını belirtmişlerdir. Örneğin, çalışan başarı faktörünün, emek yoğun faaliyet gösterilen bir sistem içinde, yüksek seviye otomasyonla faaliyet gösteren farklı bir sisteme göre belirgin olarak daha önemli bir role sahip olduğu sunulmuştur. Bunun gibi pek çok sebeple, sistem içine dahil edilecek ya da değiştirilecek her türlü unsur müdahale olarak ele alınıp, bu unsurların sisteme olan yansımaları analiz edilebilir.

Ağa müdahale olarak eklenen değişken, ağda yaşanmış olguları yansıtan durumlara karşı, yaşanmamış ve hipotetik bir dünya karşılaştırması sunuyor da olabilir (Constantinou ve diğ, 2016). Olmayan bir şeyi varmış gibi düşünme anlamında gelen-counterfactual modelleme denen bu durum altında, aslında gerçekte ne oldu ve bazı farklı senaryolar altında ne olurdu şeklinde sorgulamalar yapılır. Analist uzmanlığının ve veri sağlayan uzmanların hipotetik düşünme yeteneğine bel bağlayan bu yönteme pek çok alanda mecbur kalınabilmektedir. Daha önce hiç kullanılmamış bir teknolojiye pazarın talep gösterip göstermeyeceği, daha önce gerçekleştirilmemiş bir uzay araştırmasındaki riskler, sağlık alanında daha önce kullanılmamış bir tedavi yöntemi ve geleceğimize dair aldığımız pek çok karar hipotetik olarak analiz edilebilir.

Literatürde, Bayes Ağları Analizi'nde müdahale ve risk kontrol seçenekleri incelemesini ele alan yazar çeşitliliği çok değildir. Constantinou ve diğ. (2016)'nin, adli psikiyatri alanında hastalıkla ilişkili neden-sonuç bağlantılarının incelendiği kapsamlı bir müdahale analizi yaptığı söylenebilir. Çalışmada ağa yapılan müdahale, tedavi, meditasyon ya da terapi olarak tanımlanmıştır. Bayes ağı tamamen uzman yargılarınca kurulmuş ve hastalıklara dair tedavi unsurları ağa müdahale olarak yeni değişkenler aracılığıyla eklenmiştir. Böylelikle, müdahale ile birlikte ağ yapısı

güncellenerek yeniden oluşturulmuştur. Bunun gibi, ağa eklenen değişkenlere Constantinou ve diğ. (2016) 'sentetik-yapay düğüm' adını vermişlerdir. Değişkenlere dair verileri hem mevcut hastalardan hem de uzman yargılarından çıkarımladıkları henüz tedavisi sürmekte olan hastalara dair beklenen tedavi sonuçları gibi bilgiler aracılığıyla çıkarımlamışlardır. Böylelikle, aynı hastalık belirtilerini gösteren farklı hastalık unsurlarına sahip hastalara uygulanan farklı tedavilerin etkileri araştırılmıştır. Farklı tedavilerin hastalıkla etkileşimi ve semptomlara olan etkisi, kurulan müdahaleli Bayes ağı aracılığıyla incelenebilmiştir.

Risk analizlerinin amacı, risk unsurunu ortadan kaldırıcı ya da gerçekleşme ihtimalini azaltıcı stratejiler geliştirilebilmek için riskin çözümlenmesini sağlamaktır. Bayes Ağları Analizi'ne, risk müdahale unsuru dahil ederek, geliştirilecek stratejinin risk durumuna olan olası etkilerinin ağ üzerinden de olsa incelenmesi sağlanır. Müdahale, arızalı bir sistemde, arızanın oluşmasını engelleyecek bir bakım prosedürü; kalitesiz çıktı veren bir sistemde hatalı çıktı ortaya çıkmasını engelleyen bir hata önleme prosedürü ve navigasyon hatasının yaşandığı bir deniz trafiğinde risk kontrol seçeneği (Hänninen ve diğ., 2014a) çalışmasında da işlendiği gibi yeni bir navigasyon teknolojisi olabilmektedir. Her risk analizi çalışmasında analize dahil edilebilecek birden fazla müdahale unsurunun olabileceği ve risk müdahalelerinin her çalışma için farklı olabileceğini belirtmek yerinde olacaktır.

4. MESLEKİ GÜVENLİK RİSK ANALİZİ METODOLOJİSİ

Risk analizinin doğasındaki nedensellik ve belirsizliğin dinamik bir yapı içerisinde ortaya çıkarılması için Bayes Ağları Analizi oldukça yerinde bir yöntemdir. Sahip olduğu üstünlükleri ile literatürde özellikle kaza analizlerinde ya da sistem arızaları gibi performansı etkileyen alanlara dair yapılan analizlerde sıkça kullanılmaktadır. Risk içeren sistemlerde Bayes Ağları Analizi ile istenmeyen bir olayın meydana gelmesindeki etkili olaylar ve kök unsurlar belirlenerek, sistem içerisinde 'neden' olarak var olan tüm olayların aralarındaki istatistiksel bağa göre ilişkileri ele alınır ve kapsamlı bir risk çözümlemesi yapılır. Bayes ağları, literatürde belli bir kazaya/arızaya/gecikmeye bağlı olayların risk analizi için kullanılmış olmasına rağmen, bir sistem içerisinde yer alan çoklu istenmeyen olayların risk analizi için henüz kullanılmamıştır.

Kaza analizlerinde kullanılan Bayes ağları çalışmaları literatürü incelendiğinde, analizlerin spesifik bir kaza üzerine yapıldığı görülmektedir. Önlemeye ya da şiddetinin azaltılması için çalışılan her kaza, risk analizi perspektifinden incelenebilir. Fakat bazı sistemlerde gerçekleşmeyen fakat ramak kala ya da kıl payı olarak ifade edilen kazalar ya da gerçekleştikten sonra yöneticiler tarafından tolere edilebilmesi sebebiyle resmiyete işlenmeyen kazalar da risk analizi için önemli çalışma alanlarıdır. Akademik risk analizi çalışma alanında yer edinmemiş olan bu statüdeki istenmeyen olayların ele alınabilmesi için bu çalışma metodolojisi geliştirilmiştir.

Çalışma kapsamında geliştirilen metodoloji, her birinde çeşitli risk unsurları oluşturan çoklu süreçleri ve çoklu istenmeyen olayları konu edinmiştir. Sistemin çoklu risk unsurlarının bir arada analiz edilebilmesini amaçlayan risk profilini araştırmak için, Bayes ağları yönteminden yararlanılmıştır. Bayes ağları ile ele alınacak tüm olaylar nedensellikleri ve belirsizlikleri ile ele alınacaktır. Sistemin risk analizi için, analist ve çalışma alanı uzmanlarının birlikte çalışabilmesine yönelik grafiksel bir sunumla kullanışlı bir zemin oluşturulacaktır. Olayların nedensel ilişkilerinin olasılık dağılımlarıyla açıklanması için istatistiksel verilerin ya da alan uzmanları görüşlerinin olması gerekmektedir. Bu çalışmada, çoğu risk analizinin içinde bulunduğu veri

sıkıntısı nedeniyle uzman görüşlerinden yararlanmaya imkân veren bir risk analizi metodolojisi sunulmuştur.

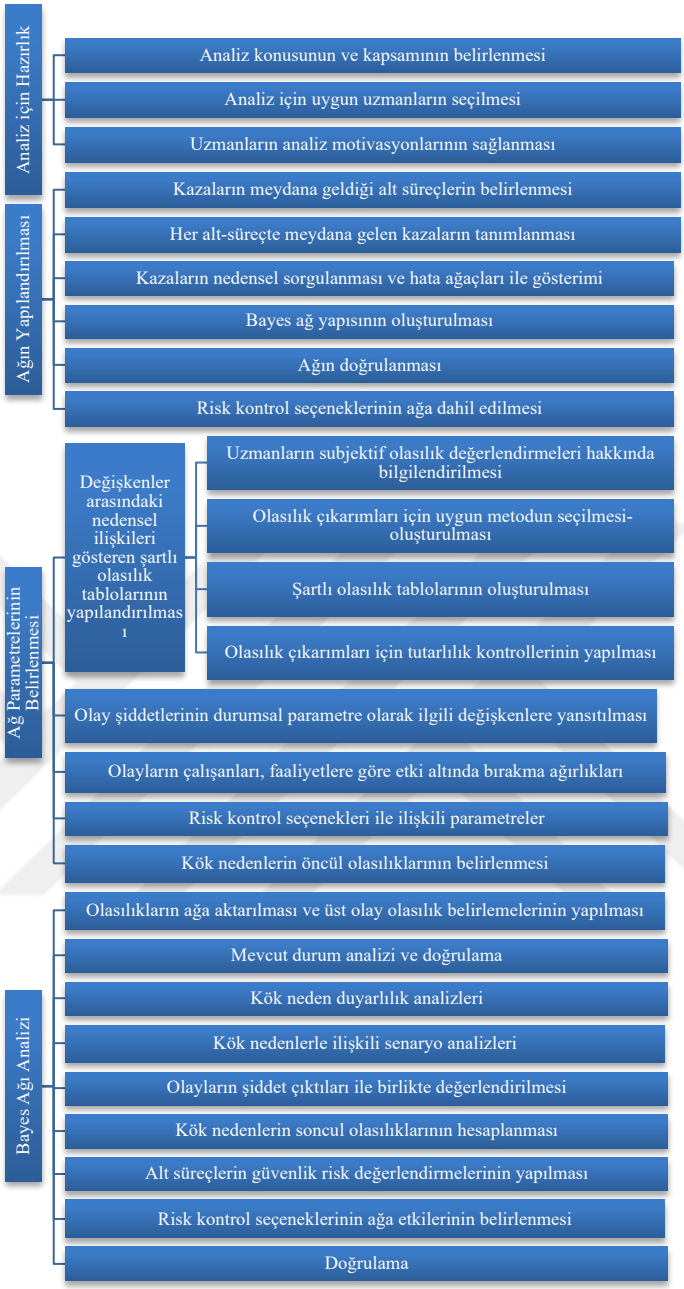
Geçmiş verilere ulaşmanın zor olduğu ve belirsizliğin hâkim olduğu alanlarda etkili çıkarımlar yapabilmek için güvenilirliği sorgulanır zorlu ve uzun süreçler içermesine rağmen, doğru metodolojilerle oluşturulmuş bilimsel süreçler aracılığıyla uzman yargılarının kullanılması sağlanabilir. Geçmişe ait verilerin olmaması durumunda, riskle ilişkili olayları yapılandırmak ve analiz etmek için veri eksikliği sebebiyle herhangi bir girişimde bulunmadan karar almaktansa, karar aşamalarında açıkça ifade edilebilen uzman yargılarıyla yapılan risk analizlerinin kullanılmasının daha kabul edilebilir olduğu kaçınılmazdır (Nordgård ve Sand, 2010).

Uzman yargılarıyla ve Bayes ağı kullanılarak oluşturulmuş bu risk analizi metodolojisi ile, içerisinde çoklu risk unsuru bulunan ve çoklu süreçlerden oluşan bir sistemin kapsamlı risk analizinin yapılması sağlanmıştır. Metodoloji, sistem içindeki risk unsurlarının tanımlanmasını ve nedensellik yaklaşımı ile risk sebeplerinin ve Bayes yaklaşımı ile de sebepler arası ilişkilerin ortaya çıkarılmasını sağlamaktadır. Ayrıca farklı risk kontrol seçenekleri oluşturulmasını sağlayarak, güvenlik riski ile ilişkili sistem için müdahale mekanizması da sunmaktadır. Olayların, her faaliyet altındaki çalışanı farklı seviyede etkileyebileceği göz önüne alınmış ve metodolojiye bununla ilişkili olarak süreç risk değerlendirmesi de dahil edilmiştir.

Çalışma metodolojisi, bir sistem içerisindeki olası iş sağlığı ve güvenliği ile ilişkili mesleki kazalara ilişkin risk çözümleme prosedürünü, bir sistem içerisindeki çalışanlara yönelik şiddet seviyesi önemsiz olmak üzere, zarar verebilecek her türlü istenmeyen olayı incelemek üzere oluşturulmuştur.

Büyük tanısal Bayes ağları kurmak için hızlı ve kolay bir yol sağlayacak ve Bayes ağları analistlerine gerek kalmadan, ağın model kullanıcısı tarafından kurulabilmesini sağlayan bir metodoloji geliştirmek literatürde gözlenen amaçlardandır (Kraaijeveld ve diğ., 2005). Bayes ağları konusunda uzman bir analist olmadan, Bayes Ağları Analizi'ni mümkün kılan bir metodoloji henüz geliştirilmiş olmasa da bu tez çalışmasında Bayes Ağları Analiz uzmanlığı konusunda rehberlik sunulmaya çalışılmıştır ve gerçek dünyada karşılaşılan, her birinin içinde pek çok potansiyel istenmeyen olayı bulunduran farklı süreçlere sahip sistemlerde kullanılabilecek bir risk analizi metodolojisi sunulmuştur.

Çalışma metodolojisi Şekil 4.1'de ifade edildiği gibidir:



Şekil 4.1 : Çalışma metodolojisi.

Ana hatlarıyla metodoloji, 4 bölümden oluşmaktadır:

1. Analiz için Hazırlık
2. Ağın Yapılandırılması
3. Ağ Parametrelerinin Belirlenmesi
4. Ağ Hesaplamaları ve Duyarlılık Analizleri

4.1 Analiz Hazırlık Aşaması

Bayes ağları ile yapılan risk analizi çalışmaları, çoğunlukla uzman yargıları ile yapılmaktadır. Çünkü geçmiş verilerin Bayes ağı değişkenleri ve aralarındaki ilişkileri tanımlayabilmek için yeterli olmaması durumu, çoğu çalışmanın ortak noktasıdır. Bu yüzden, yapılacak risk analizinde analist ve uzmanların etkisi oldukça önemlidir. Uzmanların alan konusunda belli bir deneyim ve bilgileri olsa da uzman oldukları konu hakkında risk çerçevesinden değerlendirme yapacak şekilde nedensel ve olasılıksal yargılar geliştirebilmek için, analist ile mutlaka bir hazırlık evresi içerisinde bulunmalıdırlar.

Analist tarafından çalışma konusunun, kapsamının, çalışmanın gerekliliğinin ve uzman yargılarının çalışma için kritikliğinin hazırlık aşamasında uzmanlarca anlaşıldığından emin olmalıdır. Bu aşama sağlıklı sürdürülürse ve uzmanların çalışma içerisindeki konumlarını anlamaları sağlanırsa, özellikle ulaşılabilirlik hatası, motivasyonel hata, sabitlenmiş nokta ve kontrol hatası gibi yanlı değerlendirmelerden uzaklaşılması da büyük ölçüde sağlanmış olacaktır. Dolayısıyla Bayes Ağları Analizi için uzman grubu ile yapılacak hazırlık aşaması, risk analizi çalışmasının en önemli kısmıdır (Langseth ve Portinale, 2007). Ağ yapılandırmasına geçilmeden önce riskle ilişkili ele alınan konunun net olarak tanımlanması, sınırlarının çizilmesi, analiz için ana veri kaynağı olacak uzmanların seçilmesi, uzmanların çalışma konusu hakkında bilgilendirilmesi ve çalışma amacına hizmet etmek için istekli olmaları ve çalışmayı benimsemelerinin sağlanması için motivasyonel hazırlık aşamaları planlanır.

Analizin hazırlık aşaması, çalışmanın öneminin uzmanlara aktarılmasıyla başlar. Risk analizi özellikle karmaşık sistemlerde istenmeyen çıktıların ortadan kaldırılması için uygun stratejilerin belirlenmesi amacıyla yapılır. Her sistemin içinde bulunduğu şartlara göre kendine özgü doğası vardır ve sistemden beklenmeyen her davranış riskli durum olarak tanımlanabilir. Sistem performansının kesintisiz ve azalmayacak şekilde sürdürülmesi için istenmeyen sistem davranışlarının ortadan kaldırılmasına yönelik incelemeler yapılmalı ve önlemler alınmalıdır. Risk analizi çalışmasının öneminin her yönüyle uzmanlarca anlaşılması gerekmektedir.

Risk analizi yapılacak konu ve kapsamın tanımlanması ise, tam olarak bu sistemin tanımlanmasıdır. Sistemin geçmişte sunduğu istenmeyen çıktıları ve gelecekte gerçekleşmesi muhtemel istenmeyen durumları belirlenir. Bu istenmeyen durumların

ortaya çıkmasını engellemek ya da şiddetini azaltmaya dair analiz konusu belirlendikten sonra, sistemin bileşenleri ve sınırları ortaya çıkarılarak analiz kapsamının belirlenmesi sağlanır. Sistem içindeki bileşenlerin ve istenmeyen davranışların ortaya çıkmasındaki rolleri ile kendi aralarındaki etkileşimlerinin ortaya çıkarılmasına yönelik sisteme, konuya ve kapsama özel tanımlamalar yapılır.

Analizi yaparken risk unsurunu oluşturan olayları aralarındaki bağımlılık ya da bağımsızlık ilişkileriyle birlikte ele almak ve riski dinamik modelleyebilmek önemlidir. Çünkü, sistemlerin değişken durumlara sahip olmaları, riskli durumların ortaya çıkarılması ve önlenmesinin kolayca başarılamamasındaki sebeptir. Bu yüzden risk belirlemeleri için olay durumlarındaki varyasyonların hesaba katılmaması, hayati kayıpların olabileceği alanlarda kabul edilemez. Dolayısıyla, risk değerlendirmeleri için Hata Ağacı Analizi, Olay Ağacı Analizi, Hata Türü ve Etki Analizi, Papyon Analizi gibi daha çok betimleyici ve değişkenleri statik olarak ele alan yöntemlerin kullanılması, çalışma amacına uygunluğu sağlayamayacaktır. Bayes ağları ise diğer risk analizi yöntemlerinin aksine, belirsizlik içeren karmaşık sistemleri içsel dinamikleri ile birlikte ele alarak, risk analizinin gerçeğe uygun ele alınabilmesi için yeterlilik sağlamaktadır. Analiz için kullanılacak yöntemin, özellikleriyle birlikte somutlaştırılarak uzmanlara aktarılması, analiz konu ve kapsamına dair uzmanın bilişsel hazırlığını güçlendirecektir.

Benzer sistemlere dair yapılmış risk analizleri ile karşılaşılsa dahi, risk analizi çalışmalarının hem varsayımlarının hem de ilişkisel yapılarının doğrudan kullanılabileceği düşünülmemelidir. Bu konuda kuşkucu bir yaklaşım geliştirilmeli, riski yaratan olguların, çoklu unsurların yer aldığı sistemlerde farklı durumsal gelişmeler sunabileceği göz önüne alınmalıdır. Her konunun incelendiği sistem ve bileşenlerine göre, farklı ayrıntıları var olabileceğinden, her risk analizi konusu ve kapsamının mutlaka özelleşmesi beklenir.

Her türlü bilimsel analiz, veriye dayandırılmak zorundadır. Analiz için yeterli miktarda verinin sistemler üzerinden ulaşılabilir olmaması durumunda, veri kaynağı olarak uzmanlardan yararlanılır. Uygun uzmanların seçilmesi, analizin doğru verilerle, doğru sonuçlara ulaşılacak şekilde yapılması anlamına geldiği için dikkatle yapılması gerekir.

Uzman seçilirken sırasıyla dikkat edilmesi gereken faktörler, uzmanın alan deneyimi, alanıyla ilgili tehlike ve risk unsurlarına verdiği önem ve iletişim yeteneği olarak sıralanabilir. Uzman yargıları ile yapılacak çalışmalar için, grup değerlendirmeleri üzerine yapılan bir çalışmada (Clemen ve Winkler, 1999), grup çıkarımında maksimum efektiflik için optimum uzman sayısının 3 ile 5 arasında olduğu belirtilmiştir. Uzman grubunun öncelikle, risk analizi yapılacak olan sistem içinde yeterli deneyimi olan çalışanlardan oluşturulması gerekmektedir. Uzmanların birbirleri ile rahat ilişki içinde olmaları, iletişimlerinin çekincesiz ve şeffaf olması ve uzmanlar arasında herhangi bir çıkar ilişkisinin bulunmaması da ayrıca sağlanması gereken önemli unsurlardır. Uzmanların kendi aralarındaki iletişimleri kadar, analistle kuracakları iletişim de kuvvetli olmalıdır. Çünkü üzerine çalışılacak olan analiz, yapısı gereği sadece soru-cevaplarla ya da çoktan seçmeli değerlendirmelerle sınırlı değildir. Uzmanların nedensellik ve olasılıklar üzerine yargıları, kendi aralarındaki ve analistle yapacakları etkileşimli paylaşımlar ile gerektiği ölçüde yön değiştirebilmeli ve gerektiği ölçüde derinleşebilmelidir. Uzmanların her sorgulama sonucunda ve ağ ile ilgili değerlendirmelerin sonunda, analiz verisine dönüştürebileceği bir uzlaşık çıktı sunmaları gerekir. Grup halinde karar sunacakları için uzmanlar arasında herhangi bir çıkar ya da çekişme durumunun olmaması gerekmektedir. Uzmanların fikir birliğine varabilmeleri için, yargılarının şekillenmesi konusunda gerekli ölçüde esnek olmaları ve interaktif tartışmaya açık olmaları gerekmektedir. Dolayısıyla uzmanların, alanla ilgili deneyim ve bilgi düzeyi yeterli, fikir paylaşımına uyumlu, analizin önemine saygı duyabilecek ve analiz süreçlerinin interaktifliğine katkıda bulunmak isteyen, alan çalışanlarından belirlenmesi gereklidir.

Risk analizine uygun sorgulamalar ve çıkarımlar için uzmanlara, gerekli bilişsel ortam hazırlanmalıdır. Risk analizi konusu ve kapsamı ile ilgili sistemle ilişkili risk çerçevesinden tanımlayıcı bilgilerin, oluşturulan uzman grubuyla paylaşılması, uzmanların yapılacak çıkarımların konu ve önemi hakkında bilgilendirilmesi sağlanmalıdır (Shephard ve Kirkwood, 1994). Dolayısıyla, analizi yapılacak risk unsurlarına yönelik temeller, riskin tanımı ve riskli olayların muhtemel etkileri kapsamlı bir şekilde anlatılmalıdır. Analizin gerekliliğini ve güncelliğini ortaya çıkaracak ifadeler kullanılmalıdır.

Uzmanların, yapılacak analizin ana veri kaynağı olarak kullanılıyor olmalarının yanı sıra, bilgileri ve yargıları doğrultusunda sunmaları gereken değerlendirmelerinin kendi

doğrularından oluşması gerektiği konusunda ikna edilmeleri önemlidir. Diğer bir deyişle, aranan bilgiler için doğru ya da yanlış kavramının olmadığı, yalnızca onların olaylara ve sorgulara yönelik inanışlarının ortaya çıkartılmaya çalışıldığı belirtilmelidir. Çalışma için yalnızca görüşlerine ihtiyaç duyulduğu ve hiçbir rahatsızlık duymamalarının sağlanması konusunda gerekli açıklamalar yapılmalıdır. Belirsizliğin dilsel ifadesinin sunumunun önemli ölçüde bireyler ve durumlar arasında değişkenlik gösterdiğinin ve yaptıkları değerlendirmelerin analiz içerisinde tekrar tekrar düzenlenebilme fırsatı bulabileceği de mutlaka belirtilmelidir (Renooij, 2001; O'Hagan ve diğ., 2006).

Uzman yargılarının bilimselliğinin sağlanmasında çok önemli bir diğer nokta, uzmanların fikirlerinin sunumunda nötr ve dürüst olmaları gerekliliğidir. Uzman değerlendirmeleri pek çok hata içerebilir ve bu hatalar da analist tarafından çıkarım sürecinin öncesinde gerekli önlemler alınmadığı müddetçe kolaylıkla kalibre edilemeyebilirler (Van der Gaag ve diğ., 2002). Bu yüzden uzmanların içinde bulunabilecekleri her türlü önyargı ve yanlı ifadelerden çıkarım süreçleri için arınabilmeleri sağlanmalıdır.

Hatalı yargılamalar sunulmasındaki esas etkenlerin, uzmanların olay değerlendirmelerini, gerektiği şartlar altında değil, ilk aklına geldiği hali ile yapmasından, sorguları yanlış olaylarla ya da değerlerle karşılaştırma yaparak değerlendirmelerinden ve kendi çıkarlarını ve etki güçlerini analize dahil etmelerinden kaynaklandığının uzmanlara örneklerle açıklanması gerekir. Önyargı ve yanlı ifadeler konusunda bilgilendirilen uzmanın, düşüncelerinin yalnızca olayı yansıtması gerekliliği ile olası önyargılı çıkarımlara dair farkındalığının önemi belirtilmelidir (Shephard ve Kirkwood, 1994).

Analiz için ağ kurulumuna geçilmeden önce uzmanların, çalışma sebebi ve gerekliliği ile Bayes ağının kurulu olduğu nedensellik ve olasılık temelleri hakkında doğru görüşlere sahip olduklarına dair emin olunmalıdır. Aksi takdirde analize asla geçilmemelidir.

Analizin yöntemi, kapsamı ve hedefleri konusunda, uzmanların analiz için gerekli bilişsel motivasyona ulaştığından emin olunana kadar örnek analizler sunulabilir. Analist uzmanların çalışmaya dair uygun motivasyona ulaştıklarını, onlarla yapacağı etkileşimli sohbetten çıkarımlar.

4.2 Ağın Oluşturulması

Analiz için verileri sağlayacak olan uzmanların seçimi ve çalışma hakkında motivasyonlarının sağlanmasından sonra, Bayes Ağları Analizi'nin temelini oluşturulacak ağın yapılandırılmasına geçilebilir. Ağın oluşturulabilmesi için istatistiksel olarak anlamlı çıkarımlar yapabilecek çoklukta verinin bulunması halinde, verilerden ağ yapısını öğrenen bir Bayes ağı oluşturmak mümkündür. Geçmiş dataların Bayes ağlarındaki değişkenler arasındaki ilişkileri tanımlayabilmek için yeterli olmaması durumunda ise Bayes ağı uzman yargıları ile yapılandırılır (Laitila, 2013). Yapılandırma, genel olarak analist ve bir grup uzman tarafından yapılır. Bir Bayes ağı analisti, modelin yapılandırılması için alan uzmanlarına rehberlik eder, ilişkili sorular sorar ve alan uzmanları ile modeli oluşturan değişkenlerin ve ilişkilerinin tanımlanmasını sağlar (Langseth ve Portinale, 2007).

Bayes ağları ve uzmanlar aracılığıyla risk analizi konusunun akademik olarak ele alındığı bu tezde, gerçek dünyada karşılaşılan ve çoklu süreçler içerisinde yer alan risk unsurlarına dair bütünleşik bir risk analizi sunan bir metodoloji sunulmuştur. Analizin temeli olan ağ kurulumunun aşamaları aşağıdaki gibidir:

- Kazaların meydana geldiği sistem alt süreçlerinin belirlenmesi
- Süreçler içinde gerçekleşmesi muhtemel kazaların tanımlanması
- İstenmeyen olayların nedensel sorgulanması ve hata ağaçları ile gösterimi
- Bayes temel ağ yapısının oluşturulması
- Ağın doğrulanması
- Risk kontrol seçeneklerinin belirlenmesi ve ağa dahil edilmeleri

İfade edilen tüm adımlar aracılığıyla, farklı süreçler altında meydana gelen farklı istenmeyen olayların, meydana gelmesine neden olan nedensel unsurlarıyla birlikte grafiksel olarak ortaya çıkarılması üzerine Bayes ağı kurulmuş olacaktır. Risk unsurlarında muhtemel değişiklik yaratabilecek risk kontrol seçeneklerinin belirlenmesi ve ağa dahil edilmesinin ardından, risk seviyesinde meydana gelmesi beklenen değişiklikler analiz edilecektir. Ağla ilişkili bu aşama ağın nitel analizidir. Ağın çizimi için online Lucidchart çizim programından yararlanılmış olup, hesaplamalar Microsoft Excel programı ile manuel yapılmıştır. Hesaplamalarla ilişkili kontroller için GeNIe 2.4. programı kullanılmıştır.

4.2.1 Kazaların meydana geldiği sistem alt süreçlerinin belirlenmesi

Risk profili incelenecek olan sistem sınırlarının belirlenmesinin ardından, sistem alt süreçlerinin belirlenmesi gerekir. Sistemler, çeşitli prosesleri barındırdıkları için, analizin sağlıklı yapılabilmesinde öncelikle analist ve uzmanların iş birliği içerisinde kazaların meydana geldiği temel süreç başlıklarının tanımlanmaları önemlidir. Bu tanımlama, iş akış diyagramlarına uygun da yapılabilirken, uzmanların yönlendirmelerine göre farklı sınıflandırmalar kapsamında da yapılabilir. Böylelikle, risk seviyelerinin değerlendirilmeleri ya da karşılaştırılmaları gibi analiz yorumlama aşamasının ve analiz sonrası stratejilerle ilişkili karar verme süreçlerinin yönetilebilme aşamasının da kolaylaştırılması sağlanır. Alt sistemler ya da alt süreçler niteliğinde sınıf belirlemeleri ile hem analiz içindeki üst-olayların belli bir sistematik içinde belirlenmesi sağlanacak, hem de riskin efektif yönetilmesini için yönetimsel seviyede çıktılar oluşturulabilecektir.

4.2.2 Süreçler içindeki gerçekleşmesi muhtemel kazaların tanımlanması

Bayes ağlarında üst olay olarak da tanımlanan ve risk analizi kapsamında ele alınan istenmeyen olayların belirlenmesi ve tanımlanması çalışmanın amacını somutlaştıran ilk adımlardandır. Ağın ana başlıkları altında ele alınacak esas olaylar ortaya çıkacak, hangi olayın hangi süreçte olduğu ve kimi olayların birden fazla süreç içinde yaşanabildiği gözlenebilecektir. Risk unsuru temel olaylarının belirlenmesi için kaynaklar geçmiş kayıtlar, ilgili literatür ve uzmanların bilgi birikim ve deneyimleridir. İstenmeyen olayın ağda ele alınması için, analizin konusu ve kapsamı içinde olması, ilgili sistemde geçmişte yaşanmış olması ya da belirli önlemler ya da şans faktörü ile gerçekleşmiş olmasa da ortaya çıkabilme ihtimalinin olması yeterlidir.

Sistemi etkileyen bileşenlerden biri olan doğa ile ilişkili olayların analize dahil edilip edilmemesi, analist ve uzmanların ortak kararı ile belirlenebilir. Örneğin deprem, sel gibi afetlere bağlı olarak sistem içinde tetiklenecek olan istenmeyen olayların, uzmanların yalnızca ilgili işletme için değil, tüm sektör deneyimleri dikkate alındığında, hiç şahit olmamaları söz konusuysa, sistem dışı faktör olarak ele alınıp, çalışmaya dahil edilmemesi söz konusu olabilir. Fakat nükleer santral güvenilirliği incelemesi gibi, olası istenmeyen olayların gerçekleşmesi halinde çok büyük şiddete sahip çıktıların olabilmesi söz konusuysa, çok küçük ihtimaller içinde olsa bile doğal afetlerin de analize dahil edilmesi önerilir. Çünkü inşaat ya da enerji santralleri gibi

bazı sistemlerin her zaman hazırlıklı olmaya çalıştıkları olası ve en çok korku duyulan istenmeyen olayları, doğal afetler tetikleyicisiyle ortaya çıkan olaylar olabilmektedir. Fakat, sistem içinde doğal afetlerden çok daha görünür ve müdahale edilebilir tehlikelerin olması durumunda, çalışmanın yoğunluğunun sağlanması için, doğal afetler sebepli ortaya çıkabilecek nedensel unsurların çalışmaya dahil edilmemesi de mümkündür.

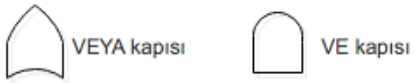
Metodoloji kapsamında birden fazla kazanın ele alınması sebebiyle, bu kazaların nedensel çözümlemelerinin doğrudan Bayes ağına yansıtılmasının hatalara sebep olabileceği düşünüldüğünden, bu aşamada Hata Ağaçları Analizi'nin niteliksel aşaması kullanılabilir. Her bir olayın, hata ağacı kapsamında bir üst olay olarak ele alınması ve sorgulanması ile kaza çözümlemeleri yapılabilecektir. Detaylı olay haritalamaları ile istenmeyen olayların meydana gelmelerine neden olan olay birleşimlerinin anlaşılması sağlanacaktır.

4.2.3 Kazaların nedensel sorgulanması ve olay hata ağaçları

Süreçler sırasında meydana gelen ve risk analizinin üst olayları olan istenmeyen olayların tanımlanmasının ardından, bu olaylarla nedensel ilişki içinde bulunan ve analize dahil edilecek tüm olayların belirlenmesi sağlanır. Metodoloji kapsamında birden fazla kazanın ele alınması sebebiyle, bu kazaların nedensel çözümlemelerinin doğrudan Bayes ağına yansıtılmasının hatalara sebep olabileceği düşünülür. Dolayısıyla Bayes ağlarının yapılandırılması için Hata Ağacı Analizi yönteminden yararlanmak uygun bir yaklaşımdır.

Hata ağacı, kazaların ya da olayların meydana gelmesindeki sıralı olayları farklı şekillerde ve sistematik olarak gösteren grafiksel bir anlatım aracıdır (Hyun ve diğ., 2015). Dolayısıyla, Hata Ağacı Analizi de Bayes Ağları Analizi gibi betimsel ve ilişkisel bir araştırma modelidir. Hata ağacı oluşturmanın amacı da kazaların temel sebeplerini bulmak ve kazanın meydana gelmesini engelleyici unsurlara dair yerinde çıkarımlar yapabilmektir. Ağaç içerisinde kazalar yukarıdan aşağıya doğru meydana gelmesinde etkili ara olaylar ve temel olayları gösterir şekilde yapılandırılır. Hata ağaçlarında olaylar arasındaki ilişkileri betimleyebilmek için mantık kapılarından yararlanılır. "VE" kapısı kapsadığı bütün olayların gerçekleşmesi halinde meydana gelebilen olayı, "VEYA" kapısı ise kapsadığı olayların herhangi birisinin

gerçekleşmesi durumunda meydana gelebilen olayı işaret etmektedir (Yaşlı ve Bolat, 2016). Şekil 4.2'de belirtilen hata ağacı mantık kapıları görülmektedir.



Şekil 4.2 : Hata ağacı mantık kapıları.

Olayların ikili değişken olması, olayların birbirlerinden istatistiksel olarak bağımsız olması, olaylar ve nedenler arasındaki ilişkilerin mantık kapıları aracılığıyla sunulması Hata Ağacı Analizi'nin önemli varsayımlarıdır. Hata ağacının merkezi ele aldığı üst olaydır (Bobbio ve diğ., 2001).

Hata Ağacı Analizi ile Bayes Ağları Analizi'ni birbirinden ayıran temel özellikler vardır. Hata Ağacı Analizi belli bir olayın meydana gelmesinde etkili birbirinden farklı tüm olay birleşimlerini ortaya çıkarma odaklıdır. Bayes Ağları Analizi ise, belli bir olayın meydana gelmesinde etkili tüm olayların kendi aralarındaki etkileşimlerini de dikkate alarak olay analizleri yapmaktadır. Böylelikle, Bayes ağları olaylar arasındaki ilişkilerin güncellenmesini ve ağ içindeki olayların bir arada ele alınmasını sağlayarak hata ağaçlarına göre daha güvenilir risk hesaplamaları yapılmasını sağlar. Benzer şekilde, Khakzad ve diğ. (2011) de Hata Ağacı Analizi ile Bayes Ağları Analizi'nin belli bir aşamaya kadar ortak bir yapı kullandığını, fakat Bayes Ağları Analizi'nin farklı modelleme özelliklerini sağlaması, olaylar içerisinde çoklu durumların göz önüne alınabilmesi ve olaylar arasındaki bağımlılık ilişkilerini daha detaylı gösterebilmesi sebebiyle risk analizlerinde kullanmak için daha etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir.

Hata ağaçlarının Bayes ağlarına göre analiz derinliğinin daha az olduğu düşünülse de olayları ayrı ayrı ele alıyor olması, olay haritalamasının daha kolay yapılmasına imkân sağlamaktadır. Hata Ağacı Analizi ile olay haritalama için sorgulamalar ve nedensel çıkarımlar daha kolay yönetilebildiği için, literatürde de risk analizi çalışmaları için her iki yöntemden bir arada yararlanan çalışmalar bulunmaktadır (Leu ve Chang, 2015; Khakzad ve diğ., 2011). Hata Ağacı Analizi ile olay haritaları çıkarımlandıktan sonra, haritanın Bayes ağına dönüştürülmesiyle analiz sürdürülebilmektedir.

Kaza çözümlemeleri, her bir olayın, hata ağacı kapsamındaki bir üst olay olarak ele alınması ve sorgulanması ile yapılabilecektir. Detaylı olay haritalamaları ile istenmeyen olayların meydana gelmelerine neden olan olay birleşimlerinin anlaşılması

sağlanır. Nedensel ilişkilere dair uzman yargıları çıkarımları, istatistiksel bulguların aksine, henüz gerçekleştirilmemiş eylemlerin nedenlerini ve sonuçlarını da tahmin edebilme yeteneği sayesinde, bir sistemi derinlemesine anlamaya ve sistemin farklı durumları hakkında potansiyel bir denetim sağlamaya yönelik anlam çıkarma imkânı sağlar (Pearl, 2000). İncelenecek olaylara dair nedensel sorgulamalar ile olayların nedenleri ve nedenlerin de nedenlerine kadar istenilen derinlikte sorgulama yapılabilir. Bu sorgulama daha fazla neden belirlemesi yapılamayana kadar ya da analistin çizdiği sorgulama sınırına gelene kadar devam eder.

4.2.4 Hata ağaçlarının Bayes ağına dönüştürülmesi ve temel ağ yapısı

Hata Ağacı Analizi ile Bayes Ağları Analizi'ni bir arada kullanımıyla ilgili olarak, Khakzad ve diğ. (2011) Hata Ağacı ile Bayes Ağları Analizi'nin belli bir aşamaya kadar ortak bir yapı kullandığını, fakat Bayes ağlarının daha üstün modelleme özelliği sağladığını ifade etmişlerdir. Bayes ağlarının, olaylar arasındaki bağımlılık ilişkileri ile olayları çoklu durumları ile birlikte ele alabilmesi, ağ modelinin risk analizinde kullanılacak etkili bir yöntem olduğunu belirtmişlerdir. Dolayısıyla, risk analizi için kaza sebeplerinin sıralı ve kolay anlaşılır bir şekilde ortaya çıkarılması için ağ yapılandırma aşamasında hata ağacı grafiksel gösteriminden yararlanmak, risk analizinin nicel çıkarımları için de Bayes Ağları Analizi'ni kullanmak, analiz çıktılarının doğruluğunu ve gerçeğe uygunluğunu arttıran bir yaklaşım olarak kabul edilebilir.

Bobbio ve diğ. (2001), çalışmalarında her hata ağacının, Bayes ağlarına dönüştürülebileceğini belirtmiştir. Fakat Bayes ağlarının hem modelleme hem de analiz seviyesinde üstünlükleri olduğu için, çalışmalarında programlanabilir elektronik sistemlerin güvenlik risk analizini yapmıştır. Çelik yapı inşaatlarında meydana gelen düşme kazalarını ele alan Leu ve Chang (2015) çalışmalarında, Hata Ağacı Analizi'ni Bayes ağına dönüştürerek ele almışlardır. Kazalara sebep olan olaylar arasındaki ilişkilerin belirlenmesi ve önleyici unsurların tanımlanabilmesi için uzman görüşlerinden yararlanılarak kaza hata ağaçları oluşturmuşlar ve olaylar arasındaki bağımlılık ilişkilerini incelemeye dahil edebilmek için hata ağacını Bayes ağına dönüştürmüşlerdir. Zarei ve diğ. (2017) ise çalışmalarında, doğalgaz istasyonlarındaki güvenlik değerlendirmeleri için, içinde hata ağacı yapısını da barındıran Papyon Analizi ile belirledikleri olayların, nicel analizini olaylar arasındaki ilişkileri

güncelleyebilmesi yeteneği sebebiyle Bayes Ağları Analizi ile çözümlemişlerdir. Duan ve Zhou (2012) da benzer şekilde arıza teşhisi için hata ağacı ve Bayes ağlarını bir arada kullanarak model önerisi yapmışlar ve sistem hatalarına sebebiyet verecek olay bileşimlerini (minimal cut setleri) Hata Ağacı Analizi ile belirlerken, bileşenlerin ve olay birleşimlerinin önem düzeylerini gösteren soncul olasılıklarını hesaplamak için de Bayes Ağları Analizi'ni kullanarak, risk unsurlarına dair gerçeğe uygun çıkarım yapılmasını sağlayan nicel belirlemelere ulaşmışlardır. Xue ve diğ. (2016) ise, kazıyıcı konveyörün olası arızaları üzerine yaptıkları teşhis çalışmasında, hata nedenlerini Hata Ağacı Analizi yaklaşımı ile belirleyip, arıza meydana geldikten sonra, hangi bileşenin rolünün daha yüksek olabileceğini gösteren soncul olasılıkları Bayes ağları yaklaşımı ile belirlemişlerdir. Khakzad ve diğ. (2011) de yakıt tesisleri güvenliğini konu aldıkları çalışmalarında, iki analizden de yararlanmışlar, fakat incelemelerini bir dizi kaza senaryosu üzerinden Bayes ağları ile sürdürmüşlerdir.

Hata ağacının Bayes ağına dönüştürülmesi, her iki yöntemin de sahip olduğu haritalama ilişkisi sayesinde gerçekleştirilir (Xue ve diğ., 2016). Hata ağacındaki her yaprak, Bayes ağında bir kök neden oluşturur. Hata ağacında birden fazla bulunabilen aynı öncül olay, Bayes ağında yalnızca bir kök neden olarak gösterilir. Hata ağacında olayları birbirine bağlayan "kapı" uygulamaları, Bayes ağlarına uygun şartlı olasılıkların tanımlanmasıyla yansıtılır (Bobbio ve diğ., 2001). Bayes ağları, sahip olduğu değişkenler arası bağımlılık ilişkileri ve belirsizliği modelleyen uygun şartlı olasılıklar aracılığıyla, hata ağacından farklı olarak olayları deterministik olmakla sınırlandırmaz (Bobbio ve diğ., 2001). Dolayısıyla, Bayes ağlarının kapı uygulamalarına bağlı kalmadan, olaylar arasındaki ilişkilerin ifadeleştirilmesinde çok daha özgür olduğunu söylemek mümkündür.

Hata ağacındaki "VE" kapıları Bayes ağına, ebeveyn düğümlerin her biri gerçekleştiğinde çocuk düğümün gerçekleşme olasılığına "1" atamasını yapılmasını sağlar, "VEYA" kapıları da yalnızca ebeveyn düğümlerin hiçbiri gerçekleşmediğinde çocuk düğümün de gerçekleşmediğini, diğer tüm ebeveyn durum kombinasyonlarında gerçekleşme olasılığının 0'dan farklı bir değer alabileceği anlamındadır. Ayrıca, tüm ebeveynleri arıza halinde olan bir çocuk düğümün çalışma ihtimali olabileceğini yansıtan "gürültülü" olarak bilinen modellerin kurulmasına da imkân tanınabilir (Bobbio ve diğ., 2001).

Hata ağacı ve Bayes ağları, öncül olayların birbirinden bağımsız olmaları halinde ana olay olasılığı hakkında birbirlerine yakın sonuçlar sunabilmektedir (Khakzad ve diğ., 2011; Bobbio ve diğ., 2001). Çünkü her ikisi de kök nedenlerin olasılıkları ile tümdengelim yaklaşımı ile ana olaya kadar hesaplama yapacaktır. Fakat bu durum, Bayes ağları içindeki bağlantıların yansıttığı belirsizlikler de eklenince değişecektir (Bobbio ve diğ., 2001).

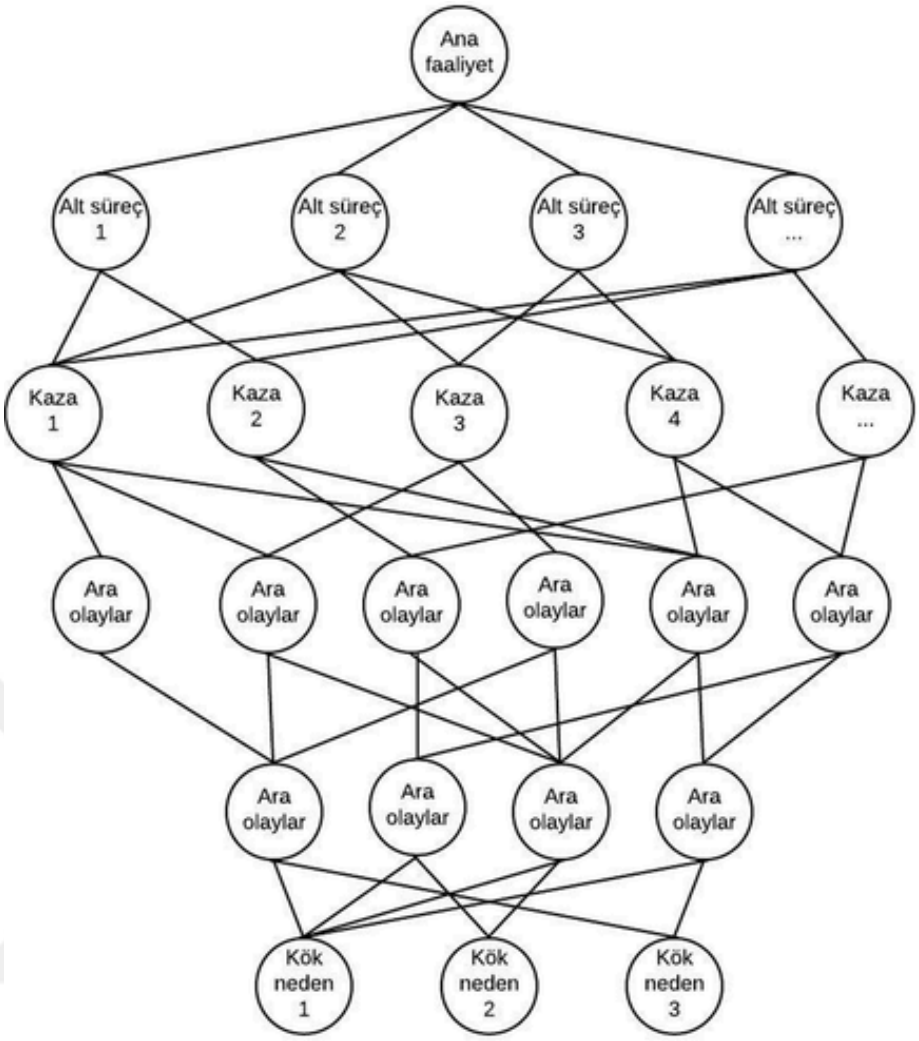
Bayes Ağları, bağımlı olaylar arasında olayların durumsal çeşitliliklerine göre özelleştirilmiş olasılık değerleri kullanabildiği için nicel analizin daha dinamik yapılmasını sağlar. Diğer yandan olaylar arasındaki ilişkileri gösteren olasılık değer sayılarının, ebeveyn değişkenler ve durum sayılarına göre üssel arttığına dikkat edilerek, ebeveyn değişkenlerde düzenlemeler (ebeveyn boşanmaları) yapılmasının gerekebileceği gözden kaçırılmamalıdır.

Hata Ağacı Analizi, Bayes ağı yapılandırılmasından önce uzmanlar ve analist için bir ön-çalışma niteliğinde kabul edilip, riskin nitel analizinin dayandırıldığı nedensel ilişkilerin çıkarımlanmasında kullanılmaya uygundur. İncelenen olaylara dair hata ağaçlarının oluşturulmasının ardından, bu ağaçların tümü tek bir Bayes ağına dönüştürülmelidir.

Hata ağaçlarından Bayes ağına dönüşüm için ilk olarak hata ağaçlarındaki üst olayların, meydana gelmesine neden olan ebeveyn değişkenleri ile sunulması sağlanır. Daha sonra aynı sürecin, hata ağaçlarındaki ara olaylar için hem ebeveyn hem de çocuk değişkenleri ile birlikte listelenmesi sağlandıktan ve üst olayların dahil olduğu süreçler de ortaya çıkarılıp, Bayes ağı kurulumu olay tekrarlarına sebep olunmadan oluşturulabilir.

Risk analizinde farklı süreçler içerisinde meydana gelmiş olaylar ele alındığı için, oluşturulan ağda yukarıdan aşağıya hiyerarşik bir yapı içerisinde olacaktır. Ağda, öncelikle Bayes ağında ele alınan ana faaliyet ve işletmenin diğer faaliyetlerinin sunumu sağlanır. Bu iki tabakanın altında, her sürecin ilişkili olduğu istenmeyen olayların verilmesi sağlanır ve her istenmeyen olayın nedensel sorgulamalarına göre yapılan çözümlemelerin yansıtıldığı ara olaylar ve kök nedenlerden oluşan Bayes ağı ortaya çıkarılır.

Temel ağ yapısı Şekil 4.3'te gösterildiği gibidir:



Şekil 4.3 : Metodoloji kapsamındaki ağ yapısı.

Ağda, yukarıdan aşağıya ilk iki katman faaliyetleri belirtirken diğer alt katmanlar ise Bayes ağını oluşturmaktadır. Bayes ağı için belirlenen tüm değişkenler, grafiksel ağda düğüm, değişkenler arasındaki ilişkiler de düğümler arası bağlantılar olarak belirlenir, kapsamlı olarak araştırılır ve ağa yansıtılır. Olaylar ve aralarındaki bağlantılar varsa geçmiş verilerden ve uzman yargılarından çıkarımlanır ve mümkünse yapılan gözlemler ile doğrulanır. Ağ kurulumunda, minimum sayıda değişkenle, kavramsal olarak iyi yapılandırılmış rasyonel bir model oluşturulması gereklidir (Constantinou ve diğ., 2016). Diğer bir deyişle, bir değişkenin çok fazla ebeveyn değişkeni olmamasına dikkat edilmeli, gerekirse, sebep sonuç ilişkilerine uygun olacak şekilde yeniden düzenlemeler yapılmalıdır.

Genel olarak, nicel çıkarım unsurlarının üssel olarak artmaması ve çıkarımların efektifliğinin korunabilmesi için, değişken sayısı model içinde minimumda tutulmalı, fakat olayların meydana gelişlerinin gerçeğe en uygun şekilde ağa yansıtılmasından da

asla ödün verilmemelidir. Bu birbiriyle çelişen iki durumun dengesi analist ve uzmanların bilgi birikimi ve sezgisel inancına bağlı olarak ayarlanır. Ebeveyn sayısının arttıkça şartlı olasılık tabloları için gereken veri miktarının üssel olarak artması zorluğunun üstesinden gelebilmek için dikkate alınabilecek birtakım unsurlar vardır. Öncelikle ağ kurulumu sırasında her değişkenin üç ebeveynden fazla ebeveyninin olmamasına dikkat edilmelidir. Fakat böyle bir durumun olması halinde, olaylar arasındaki ilişkiler gerçek dışına çıkmadan, mümkün olduğu kadar ebeveyn boşanmalarının yapılması önerilir.

Bayes ağlarının avantajlarından biri de ele aldığı değişkenlerin çoklu durumları ya da değerleri ile analiz yapılmasına imkân sağlamasıdır. Örneğin, bir olayın yaşanıp yaşanmaması, bir durumun yeterli-yetersiz oluşu ya da bir unsurla ilişkili değerin düşük-orta-yüksek gibi farklı durumlar altında değerlendirilmesi için ağ değişkenlerine durumsal parametreler tanımlanır. Bu durum, Bayes ağlarının, Hata Ağacı Analizi, Hata Türü ve Etki Analizi, Hata Türü Etkisi ve Kritiklik Analizi ve Papyon Analizi'nden farklı olarak değişkenlerin farklı değerlerini analize dahil edip, dinamik bir araştırma sağlar. Bu sebeple, Bayes ağı değişkenlerinin durumsal nitelikleri ve tanımları ile listelenmesi gerekmektedir.

Bayes ağlarının önemli bulgularından olan kök nedenler de ağın oluşturulmasındaki ana nokta olan üst olayların meydana gelmesindeki temel olaylar olduğu için, Bayes ağının kabulünün sağlanmasında oldukça önemli bir role sahiptirler. Bayes ağı değişkenlerinin durumsal nitelikleri ve tanımları ile birlikte kök nedenlerin de ayrıntılı olarak sunulması gerekirler.

4.2.5 Ağın doğrulanması

Ağın kurulum aşaması kadar önemli bir aşamadır. Zorlu ve yorucu kısım olan ağın nitel sunumunu oluşturan temel yapılandırma aşaması için, yararlanılan uzmanlardan farklı uzmanlarca ağın yapısal kontrolünün sağlanması, yapısal doğrulama için yerinde bir yaklaşımdır.

Verilere dayandırılmadan yalnızca uzman görüşleriyle oluşturulan Bayes ağlarında, incelenen olaylar, nedensel ilişkiler ve olay değişkenlerinin aldıkları değerlerin, gerçeği yansıtması son derece önemlidir. Ağın kurulumunu sağlayan uzmanlardan, farklı görüşlerin bulunması durumunda, öneriler dikkate alınıp, ilgili yapı, uzmanlar ve analist tarafından tekrar gözden geçirilip, gereken değişikliklerin yapılması

sağlanıp, doğrulama aşaması tekrarlanır. Ağın doğruluğunu kontrol edebilecek deneyim ve bilgi birikimine sahip uzman kişiler ve akademisyenlerle, oluşturulan ağın paylaşımı çalışmanın güvenilirliğini arttıracaktır.

4.2.6 Ağa risk kontrol seçeneklerinin dahil edilmesi

Bayes ağı ile kazalar, nedenleriyle birlikte grafiksel olarak gösterilirken, analizi yalnızca belirlenen olaylarla sınırlı tutmamak mümkündür. Kurulu Bayes ağına, sistem riskini kontrol edebilmek adına risk kontrol seçeneklerinin dışsal unsur olarak eklenmesi söz konusudur. Eğer ağ içinde ele alınan risk unsurlarına etkisinin olabileceği düşünülen bir dış bileşen varsa, ağa eklenerek, riske olan yansıması incelenebilir.

Bayes ağlarına yapılan müdahaleler, risk analizinin kapsamını genişletip, uygun stratejiler geliştirilmesi için ayrı bir araştırma unsuru daha oluşturabilir. Deneysel veri ve manipüle edilerek elde edilmiş müdahaleli veri kullanımı ile oluşturulmuş nedensel ağların çıkarımlarını anlatan Steyvers ve diğ. (2003), 'müdahale'yi, 'belirli nedensel hipotezleri test etmek için, ağ içindeki bir değişken kümesini deneysel kontrol altında tutarak, etkin bir şekilde araştırmak' olarak tanımlamıştır.

Müdahale unsurları ya da risk kontrol seçenekleri, literatür çalışmaları aracılığıyla ya da uzmanlarca belirlenir. Kurulmuş bir Bayes ağının, müdahale edilmiş Bayes ağına dönüştürülmesi için aşağıdaki adımlar uygulanır:

- Ağa eklenecek unsurun tanımlanması
- Ağ içinde konumlandırılması
- Sebep sonuç ilişkilerini yansıtacak şekilde ağa değişken ve bağlantı eklenmesi ya da ağdan değişken/bağlantı çıkarılması.

Müdahale unsurunun ağın içinde konumlandırılması kimi zaman, ağın yeniden yapılandırılmasını gerektirebilir. Ağın yeniden kurulumu, ilk versiyonu uzmanlarla oluşturulmuş Bayes ağlarında, öncül ağa göre çok daha kısa sürede gerçekleştirilecektir. Çünkü uzmanlar zaten süreçler ve ağ gösterimine aşina olmuşlardır ve iki çalışma pek çok benzerlik içerecektir (Constantinou ve diğ., 2016). Önemli olan ağ kurulumunda, olayları etraflıca ve etkileşimde olduğu tüm olaylarla birlikte ele almaktır. Aksi takdirde, bağımlılıkların fark edilmemesi ya da tüm önemli

neden ve unsurların hesaba katılmaması gibi, öngörülmemiş risklerin ortaya çıkmasına ve kesin olmayan bir risk ölçümü yapılmasına sebep olunabilir (Garvey ve diğ., 2015).

Risk analizlerine yapılan bu tür müdahaleler bazı çalışmalarda risk kontrol seçenekleri olarak ele alınmıştır (Hänninen ve diğ., 2014a; Hosack ve diğ., 2017; Zhang ve diğ., 2018). Çalışmalarda sıklıkla kullanılmamasına rağmen, asıl amaç risk analizi çalışmasını bir adım ileriye götürmektedir. Risk analizlerinin amacı, risk unsurunu ortadan kaldırıcı ya da gerçekleşme ihtimalini azaltıcı stratejiler geliştirilebilmek için riskin çözümlenmesini sağlamaktır. Bayes Ağları Analizi'ne, risk müdahale unsuru dahil ederek, geliştirilecek stratejinin sistem riskine olan olası etkilerinin ağ üzerinden de olsa incelenmesi sağlanır. Arızalı bir sistemde müdahale, arızanın oluşmasını engelleyecek bir bakım prosedürü, kalitesiz çıktı veren bir sistemde hatalı çıktı ortaya çıkmasını engelleyen bir hata önleme prosedürü, navigasyon hatasının yaşandığı bir deniz trafiğinde ise Hänninen ve diğ. (2014b)'nin çalışmasındaki gibi, yeni bir navigasyon teknolojisi olabilir. Her risk analizi çalışmasında analize dahil edilebilecek birden fazla müdahale unsuru olabileceği ve risk müdahalelerinin her çalışma için farklı olabileceğini belirtmek yerinde olacaktır.

4.3 Ağ Parametrelerinin Belirlenmesi

İncelenecek konu ile ilgili geçmiş datalardan oluşan veri tabanlarının, Bayes ağları değişkenleri arasındaki ilişkileri tanımlayabilmek ve gerekli parametreleri oluşturabilmek için yeterli olmaması durumunda, Bayes ağının uzman yargıları ile yapılandırılması ve parametrelerinin de uzmanlarca belirlenmesi kabul edilir. Bilimsel olarak endişe veren bir durum olarak kabul edilse de özellikle nadir olaylara dair istatistiklerin belirlenmesinde, geçmiş verilere güvenmek hatalı değerlendirmelere neden olacağından, olasılık parametrelerinin belirlenmesi için uzmanlardan yararlanılır (Laitila, 2013).

Ağ içinde ebeveyni olan ya da olmayan tüm düğümler Bayes ağı modelinin değişkenleridir (Hänninen ve Kujala, 2012). Her düğüm belli sayıda kesikli rassal değişken sunar. Olayların meydana gelişlerine yönelik nedensel ilişkilere dair belirsizliğin aşılması için, belirsizlik üzerinde çalışılmayı mümkün kılıp, riskin sayısallaştırılmasını sağlayacak olay olasılık değerlerinin belirlenmesi gerekmektedir. Büyük çoğunlukla tekrarlı olmayan ve dolayısıyla gözlemlenemeyecek olaylar için, istatistiksel olasılık hesaplamaları yapılamadığından, ağ içerisindeki değişkenlerin

olasılık dağılımlarının belirlenmesi için uzmanlardan yararlanılır. Uzmanların sübjektif yargılarının kullanılmasından dolayı, ilgili Bayes ağına, "sübjektif Bayes" denir. Uzman çıkarımlarını tamamen ortadan kaldırmak mümkün değildir ve yargıların sübjektif doğasının gizlenmemesi veya reddedilmemesi gerekir (O'Hagan ve diğ., 2006). Bayes ağının nicel analizinde, değişkenlerle ilişkili olasılık parametrelerinin zaman harcayıcı bir süreçle ortaya çıkarılan uzman yargılarıyla belirlenmesi, Bayes ağı analizinin en fazla uzmanlık gerektiren aşamalarından biridir. Uzman yargılarından değişkenler arasındaki ilişkilerin çıkarımlanması sürecinin dikkatlice yapılmaması, zayıf kalitede grafik modellerin ortaya çıkmasıyla sonuçlanabilir (Wang, 2004).

Tüm Bayes ağları çalışmaları ortak olarak, değişkenler arasındaki belirsiz ilişkileri açıklayan olasılık tabloları (Hänninen ve Kujala, 2012) ve incelenen olayların meydana gelmesinde etken kök nedenlere dair başlangıç (öncül) olasılık ağ parametrelerine sahiptir. Fakat belirtilen metodoloji kapsamında, birden fazla kazanın ele alınması sebebiyle bu çalışmada olay şiddet seviyelerinin belirlenmesi, olay-faaliyet ikililerinin risk-etki ağırlıklarının belirlenmesi ve risk kontrol seçenekleri ile ilişkili parametrelerin de belirlenmesi gerekmektedir.

4.3.1 Uzmanların olasılık çıkarımları konusunda bilgilendirilmesi

Analiz için seçilen uzmanların, alanla ilgili deneyimli ve bilgili uzmanlar olduğundan şüphe duyulmaz. Fakat olasılık kavramı insanlar tarafından, düşünsel olarak doğru analiz edilemeyebileceği gibi, olasılık çıkarımlarına da kişiler kolaylıkla aşina olmayabilmektedirler. Dolayısıyla, bu çalışmada da aktarıldığı gibi olasılık, belirsizlik ve nedensellik kavramları uzmanlara aktarılmalı ve uzmanların olasılık kavramını en doğru şekilde anlaması ve olasılık çıkarımı için hazırlanmaları sağlanmalıdır.

Olaylar arasındaki nedenselliğin ortaya çıkarılması için, "belirsizlik" unsurunun aşılması gerekir. Belirsizlik içindeki kesin olmayan değerlerin sayısallaştırma çalışmaları için, olasılık gibi matematiksel gösterimlerden yararlanılır (Cooke ve Goossens, 2000). Risk analizinin temeli olan belirsizliğin tanımı için kullanılan olasılık kavramına ait bir takım temel aksiyomların uzmanlara mutlaka aktarılması gerekmektedir. Uzmanların matematiksel notasyonlara yabancı oldukları varsayılıp, olasılık temelleri uzmanlara aktarılmalıdır.

Uzmanlara sunulabilir olasılık aksiyom ifadeleri şu şekilde belirtilir:

- Olayın olasılığının 0 olması asla meydana gelmeyeceğini, 1 olması ise mutlaka meydana geleceğini ifade etmektedir.
- Bir olayın gerçekleşme olasılığı, 0-1 arasında bir değere sahiptir.
- Olasılık değerinin 0 ya da 1 olması kesinlik ifade ederken, 0-1 arasındaki tüm değerler belirsizliği ifade ederler.
- Olay gerçekleşmek ya da gerçekleşmemek dışında başka bir hal almıyorsa, olayın gerçekleşme ve gerçekleşmeme olasılıkları toplamı 1'dir.
- İki olayın meydana gelmeleri konusunda birbirleri ile herhangi bir ilişkileri yoksa, bu iki olay bağımsız kabul edilir.

Olaylarla ilişkili olasılıklar, uzmanların ilgili olayları gözlemleme deneyimlerinden ve dolayısıyla algısal olarak oluşturdukları düşünsel altyapı içerisinden çıkarımlanır. Uzman, ilgili olayı ne kadar gözlemlemişse, diğer bir deyişle ilgili olaya ne kadar aşina ise, olayın gerçekleşme olasılığı hakkındaki çıkarımı o kadar kolay olacaktır.

Belli bir olaya dair olasılık sorgulamaları uzmana aşağıdaki gibi yöneltilecektir:

- A olayının A1 durumunda olma olasılığı nedir?
- 100 A olayından kaçı A1'dir?
- Yüzde kaç olasılıkla A olayı A1 olur?

Olasılığın temel aksiyomlarının ve olasılık çıkarımı için uzmanlara ne tür sorular yöneltileceğine dair gerekli bilgilendirmenin uzmana aktarılmasından sonra, uzmana şartlı olasılık kavramını ve beraberinde ortaya çıkan nedensel ilişkileri açıklamak gerekmektedir. Diğer bir deyişle, bir olayın meydana gelişi konusunda izlenen bir gözlem, diğer bir deyişle olayın nedeni ya da tetikleyicisi olarak değerlendirilebilecek başka bir olay varsa, bu iki olayın birbirleriyle olan ilişkisi çıkarımlanabilmektedir. 'A olayı B olayına neden olmaktadır' ile 'B olayı A olayının bir etkisidir' ifadelerinin aynı anlama geldiğinin uzmanlarca anlaşıldığından emin olmak gerekmektedir. Bu durumda birbirlerine bağlı şartlı olasılık sorularının aşağıdaki gibi olabileceği uzmana aktarılır:

- A olayı gerçekleşmişse, B olayının gerçekleşme olasılığı nedir?
- B olayı gerçekleşmişse, A olayından dolayı gerçekleşmiş olma olasılığı nedir?

Uzmanların olasılık çıkarımı ile ilgili bilmesi gereken bir diğer önemli unsur da konuyla ilgili bilimsel prensiplerdir. Uzmanlara bilimsel prensipler aşağıdaki gibi uygun bir şekilde aktarılmalıdır:

- Uzmanlara, ölçümlenmesi zor ve maliyetli süreçler için uzmanlıklarına danışıldığı belirtilir.
- Uzmanlar herhangi bir çıkar gütmeden ya da tehdit hissetmeden fikirlerini sunarlar.
- Uzmanlar sundukları sonuçlar için asla yargılanmazlar.
- Görüşlerini sunan uzmanların isimleri ve ulaşılabilirlikleri açıkça sunulur, kimsenin veri çıkarımlama sürecinden muhtemel bir dezavantaja maruz kalmasına izin verilmez.
- Toplanan veriler ve sonuçlar apaçık sunulur.
- Verilerin güvenilirliklerine dair deneysel kontrolü, en azından yanlış olmadıklarının ortaya çıkarılmasıyla gerçekleştirilir.

İnsanlardan olasılık değerlendirmesi gibi karmaşık yargılamalar yapmaları istendiğinde, insanlar refleks olarak ve sıklıkla, sezgisel değerlendirme (göz kararı-yaklaşık olarak) yaparlar (Renooij, 2001). Olasılık çıkarımı sürecine hazırlanan uzmanların çıkarımlarını sezgisel hatalardan arındırmak için konuyla ilgili bilgilendirilmeleri sağlanmalıdır. Bazı durumlarda, olasılık çıkarımı yapılması için sunulan olaylar insan beyninde kolayca canlandırılamayabilir ve bu durum yanlış yargılamalara sebep olabilir. Yanlış yargılarda bulunmaya sebep olabilecek sezgisel hataların, uzmanlara aşağıdaki gibi sunulması sağlanmalıdır:

- Çıkarımlar konusunda doğru yanıtın bulunmadığını, dikkate alınacak tek veri kaynağının uzmanın fikirleri olduğu uzmana belirtilip, düşüncelerini, rahatlık ve kararlılıkla açığa çıkarması talep edilir.
- Belirli bir olaya dair çıkarım yaparken, olaya dair en son hatırlanan-yaşanan deneyim değil, olayla ilgili yaşanan tüm deneyimler göz önüne alınmalıdır.
- Çıkarım yaparken, olaya dair yaşantılar ve doğrudan yapılmış gözlemlerin dikkate alınması gerekir. Eğer sorgulanan olay, hiç şahit olunmayan bir

durumsa, olayın canlandırılması için, yaşanan benzer olaylar baz alınarak çıkarımlanmasında analist yardımcı olacaktır.

- Çıkarımlar, uzmanların kendilerinin deneyimlemeleri üzerinden değil, ilişkili operasyonla ilgilenen tüm çalışanların deneyimleme ihtimali üzerinden yapılmalıdır.

Olasılık çıkarımı yapabilmek, bir değer ve o değere dair olasılık çiftini açıklamak demektir. Uzmanın bunu algılayabilmesi, tam olarak ondan beklenen çıkarımın ne olduğunu anlamasına yardımcı olacaktır. Olasılık çıkarımları ile ilgili metotların neler olduğunu bilmelerine gerek olmayıp, hangi çıkarım türünün uzmanların daha kolay yorumlayacağı bir tarz olduğu analist tarafından sorgulanır. Dolayısıyla, çıkarım yapılmadan önce hangi çıkarım metodunun kullanılacağı analist tarafından belirlenir.

4.3.2 Olasılık çıkarımları için uygun metodun seçilmesi-oluşturulması

Uzman deneyimleri, olasılık hesaplamaları için kullanılan bilgi kaynaklarından biridir ve insan yargılarının, olasılık çıkarımları için güvenilir veriler olarak görülmesi mümkündür (Morris ve diğ., 2014, O'hagan ve diğ., 2006; De Wispelare ve diğ., 1995; Lewis, 1979). Fakat elde edilen verilerin rasyonelliğini güçlendirmek çok önemlidir. Uzman yargılarından olasılık çıkarımlama konusunda çeşitli yöntemler geliştirilmiş olup, konu ile ilgili gelişmelere ise hala ihtiyaç duyulmaktadır.

Olasılıkların uzmanlarca tanımlanması halinde sübjektif olasılıkların çıkarımlanması, uzmanlık yapan bireylerin genel olarak, olasılık yargıları sunmakta deneyimlerinin olmaması ve sürece alışkın olmamaları sebebiyle kolay bir süreç değildir (Morris ve diğ., 2014). Bu sebeple olasılık çıkarımlamaya geçilmeden önce, uzmanların olasılık çıkarımı konusunda yeterli bilgiye sahip olduklarından ve çalışma motivasyonunu kazandıklarından emin olunmalıdır.

Analiz verilerinin elde edilmesi için başvurulan uzmanlardan, olasılık yargılarının çıkarımında kullanılmak üzere öncelikle literatürdeki mevcut yöntemler sorgulanır. Literatürdeki çıkarım yöntemleri çeşitliliği ilk olarak, ilgili değerin olasılığının sorgulanması ya da olasılığa uygun değerin sorgulanması olarak sınıflandırılır (Abbas ve diğ., 2008; Spetzler ve von Holstein; 1975). Bu metotlar, Abbas ve diğ. (2008) tarafından ‘sorgulama yöntemleri’ olarak ifade edilirken, Spetzler ve von Holstein (1975) tarafından da ‘çözümleme metotları’ olarak ifade edilmektedir. Örneğin, pazara yeni sürülen bir ürünün, en iyi ve en kötü senaryolar altında ne kadar satış yapacağı

firma yöneticilerince mutlaka araştırılır. Böylesi durumlarda çeşitli olasılık değerleri için beklenen miktar-kar-zarar vb. sorgulamaları yapılır. Eğer sorgulanan unsur, kazanın meydana gelmesi, piyangonun kazanılması ya da ertesi gün için yağmur yağması üzerine ise, beklenen bir olaya, sabit bir değere karşılık olasılık sorgulaması yapılacaktır. Çalışma kapsamında, kazalar ve ilişkili olayların gerçekleşip gerçekleşmemesine dair unsurlar ele alındığı için, 'sabit değişken için olasılık belirleme yöntemi' kullanılmaktadır. Sabit değerli değişken ve karşılık geldiğine inanılan olasılık değeri, uygun bir çıkarım yöntemi kullanılarak, uygun olan olasılık değerine karar verilene kadar sorgulanır.

Sabit değişken çıkarım metodunda sabitlenmiş değer seçerken, uzman tarafından doğru şekilde algılanabilecek, tanımlanabilecek ve değerlendirilebilecek bir değer sunulması önerilir. Dolayısıyla, mesleki kazalara yönelik risk analizi çalışması kapsamında, sorgulanan olaylara dair olasılık sorgulamaları O'Hagan ve diğ. (2006)'nin de çalışmalarında belirttiği gibi aşağıdaki şekillerde yapılabilir.

- Olasılık : Belli bir faaliyet içerisinde X olayının olma olasılığı kaçtır?
- Yüzde : Belli bir faaliyet süresince X olayının olma ihtimali yüzde kaçtır?
- İlişkili sıklık : Belli bir faaliyete dair kaç tanesinde X olayı meydana gelir?
- Doğal sıklık : Belli bir faaliyeti yerine getiren 1000 kişiden kaçının başına X olayı gelir?

Bu soru biçimlerinden hangisi uzmanların değerlendirilmesine kolaylık sağlıyorsa, analist o soru biçimini kullanmalıdır. Çıkarımlar süresince uzmanların zorlandığı durumlar söz konusu olduğunda, analist tarafından aynı soru, farklı biçimlerde yöneltilmelidir.

Chin ve diğ. (2009) çalışmasında, deneyimlenmemiş olaylara dair olasılık çıkarımlama yaparken uzmanların yaşadığı bilgi eksikliğini modelleyememeleri sebebiyle, uzmanların yargılarını çok daha esnek ifade edebilecekleri bir taslak oluşturulması önerilir. Bu nedenle bu çalışmadaki olasılık çıkarımlama metodolojisinin, uzmanın olasılık çıkarımlarını konforla yapabilecekleri şekilde, analistle sağlanan etkileşimli süreçler içermesine gayret edilmiştir.

İnsanlardan gözleme dayalı verilerden çıkarım yapmaları istendiğinde, en çok görmeyi bekledikleri şeyleri karşılaştırarak nedensel çıkarım yaparlar. Eğer sisteme kendi müdahalelerini yaparak aktif sorgulama imkânı sunulursa, daha doğru çıkarımlar yapacakları düşünülür (Steyvers ve diğ., 2003). Dolayısıyla, çıkarım sürecinin uzman ve analist iş birliğinde interaktif olarak yapılmasının daha doğru olacağı düşünülmüştür. Uzmanları sorgulanan durumlara dair bir listeyle ve çıkarım aracı ile baş başa bırakmanın, çalışmanın içeriği sebebiyle doğru bir yaklaşım olmayacağı kararına varılmıştır.

Uzman ve analist iş birliğinde interaktif olarak sürdürülen çıkarım sürecinde, uzmanlara yukarıdaki şekillerde yöneltilen soruların cevaplanmasında aracı olarak kullanılabilecek çeşitli olasılık çıkarım araçları vardır. Uzmanın düşünsel yanıtlarını sunabilmesi için görsel-grafiksel olasılık çıkarım araçları kullanılır ya da doğrudan çıkarım yöntemi ile olasılık verileri elde edilebilir. Doğrudan çıkarım yöntemi, uzman ve analist iş birliğinde her çalışma için farklı bir sunum kazanabilir. Önemli olan çıkarım sürecinin gerçekçi veriler elde edilecek şekilde sürdürülebilmesi için süreç bileşenlerine uygun yöntemin belirlenmesi ya da oluşturulmasıdır.

Çalışmada çıkarımlanacak olasılık değerlerinin çokluğu dikkate alınması gereken önemli bir unsurdur. Dolayısıyla çıkarım sürecinin yorucu olmaması ve uzmanın motivasyonunu dağıtmadan sağlanması oldukça önemlidir.

Çıkarım yöntemlerinin her birinin çeşitli avantaj ve dezavantajları olup, literatürde ele alınan en önemli değerlendirme ölçütleri, sonuçların doğruluğu ve çıkarım sürecinin uzunluğudur. Fakat çalışmada ele alınan konunun (risk analizi) hassaslığı açısından çıkarım için seçilecek metodun sunması gereken yeter ve gerek şart, sonuçların doğruluğu ve tutarlılığı olmalıdır. Dolayısıyla gerekirse, zaman maliyetinden ödün verilebileceği düşünülmektedir.

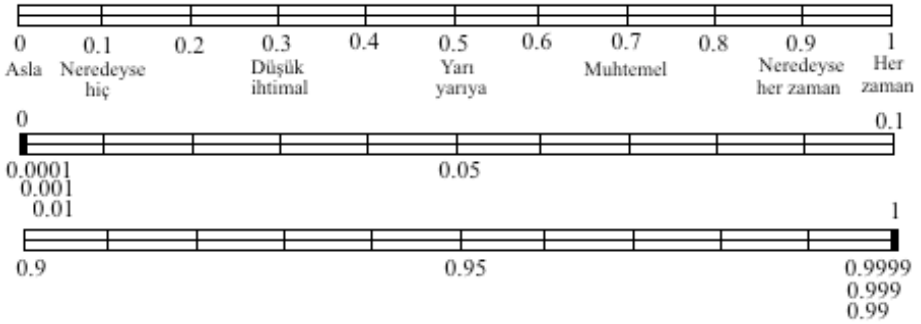
Spetzler ve von Holstein (1975) tarafından "ilişkili benzerlik" (relative likelihoods) olarak ifade edilen, belli bir değerin olasılığının benzer kapsamdaki başka bir değerin olasılığından düşük ya da yüksek olmasına dair yapılan sorgulamanın, uzman için çıkarımlanması daha kolay bir süreç oluşturduğu düşünülür. Ayrıca soruların, uzmanın kendisinin yönettiği süreçlere dayandırılarak sorulmasının, yine uzmanın çıkarım performansını arttıracağına inanılır. Dolayısıyla, çıkarım sürecinin karşılaştırma olgusunun performans arttırıcı yeteneğinden yararlanılarak, sonuçların tutarlılığının

sağlanması için, mümkün olduğu kadar ilişkili olarak yönetilmesine karar verilmiştir. Uzman olasılık çıkarımına dair yargısını sunduğunda, bu değere yakın olan daha önceki değerler, sahip oldukları ebeveyn değişkenlerle birlikte uzmana yargısını kıyaslaması için tekrarlı olarak yöneltilmelidir.

Bayes Ağları ile risk analizi çalışması için gerekli ağ olayları arasındaki ilişkileri gösteren olasılık değerlerinin bulunması, birbirini tekrar eden çoklu süreçler içermektedir. 'Sabit değişkene göre olasılık belirleme metodu'na uygun olasılık çıkarımı yapabilmek için, öncelikle literatürdeki mevcut yöntemler denenmiştir. Sorgulanan çok fazla unsurun olması, öncelikle olasılık ölçeği gibi sınırlı değerlendirme seçenekleri (3-5 ya da 7) sunan bir ölçeğin kullanımını yetersiz kılmaktadır. Olay olasılıklarının sürekli aynı değerlerle değerlendirilmesine neden olacaktır. Literatürde önerilen bir diğer yöntem olan olasılık çarkı yöntemi ise her bir olasılık çıkarımı için, uzmana yöneltilen tekrarlı sorgu süreçleri gerektirdiği için uzmanın çıkarım sürecinden çok çabuk yorulmasına ve dolayısıyla çıkarımlara güvenin azalmasına neden olacaktır. Ayrıca, çok düşük ve çok yüksek olasılık değerlemelerinde başarısız olmakta ve aynı zamanda çoklu olasılık çıkarımları için uzun çalışma süreleri gerektirmektedir. Sayılı olasılık çıkarımının yapılacağı çalışmalarda etkili bir yöntem olarak görülebilir, fakat çoklu çıkarımların gerektiği çalışmalar için yönetim gerektirdiği zaman maliyeti karşılanamayacak büyüklüktedir. Literatürde sıkça kullanılan Delphi yöntemi ise, uzmanların sezgisel hatalarını aynı sorgu ile ilişkili diğer görüşleri baz alarak düzenleyebilme fırsatını bulmaları sebebiyle, uzmanların kendi fikirlerini diğer uzmanların fikirleriyle karşılaştırmaları avantaj sağlasa da bu yöntem ancak, olasılık çarkı yöntemi için de belirtildiği gibi az sayıdaki çıkarımlı çalışmalar için önerilebilir.

Literatürdeki çıkarım yöntemlerinin, çalışma için doğrudan kullanımının yetersiz kalmasından dolayı, çalışma kapsamında "ilişkili karşılaştırmalarla analist kontrolü altında olasılık ölçeği destekli, doğrudan olasılık çıkarım yöntemi" oluşturulmuştur. Ayrıca olasılık çıkarımlarını uzmanların bireysel olarak değil, grup halinde sunmaları düşünülmüştür. Grup halinde çıkarım yapılması, uzmanların sezgisel hatalarını Delphi yöntemindeki gibi diğer uzmanların görüşlerini gözlemleyerek düzenleme fırsatı bulmaları ve çıkarımlarını, fikir birliğine vardıkları ortak bir değer olarak sunmaları, çıkarımın daha sağlıklı gerçekleştirilmesini sağlar. Grup üyesi sayısının üç olmasının Winkler (1968) tarafından da optimum kabul edilmesi ile, konu hakkında deneyimli

üç uzmanla çıkarımın yapılmasına karar verilmiştir. Grup çalışması ile uzmanlar, yargılarını kendi aralarında tartışmalar sürdürerek grup içerisinde düzenleyip, fikir birliğine varıp sunacaklardır. Uzmanların yararlanabileceği olasılık ölçekleri Şekil 4.4'teki gibi oluşturulmuştur:



Şekil 4.4 : Çalışma için oluşturulan olasılık ölçekleri.

Risk analizi kapsamında yapılacak çoklu olasılık çıkarımları için veri toplama metodundan beklenen özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Uzmanlar olasılık çıkarımına kolayca alışabilmelidirler. Süreç, uzmanların olabildiğince kolay kavrayacağı şekilde olmalı, istatistik konusunda ayrı bir uzmanlık gerektirmemelidir (rulet yönteminin uygunsuzluğu).
2. Uzman, olasılık çıkarımları için 0-1 arasında istediği değerleri verebilmek üzere özgür olmalıdır. 0'a yakın küçük ya da 1'e yakın büyük değerler için de çeşitlilik sunabilecek kadar yüzdelik, bindelik, on bindelik farklılıklar yaratabilmelidir. Cevap seçeneklerinin doğru çıkarımı yapabilmesi için uzmanı özgür bırakması ve sınırlamaması gerekmektedir (olasılık ölçeğinin uygunsuzluğunu).
3. Emin olmadığı çıkarımlar için, gerektiği zaman geçmiş çıkarımlarına dönebilmeli ve kolayca fikir değiştirebilmelidir.
4. Uzmanın çıkarım sürecinde düşünsel olarak yorulmaması-boğulmaması gerekir. Düşünsel olarak çıkarımladığı olasılık değerini pratik bir şekilde sunabilmelidir (Olasılık çarkı ve kumar yöntemleri ile Delphi yönteminin uygunsuzluğu).
5. Sıralamalar yaparak çıkarımlarını ilişkisel kontrol edebilmeli ve süreci düzgün sürdürdüğünden emin olmalı ve böylece tutarlılığını da kontrol edebilmelidir.

6. Çıkarım sürecini, uzman kendisine güvenerek sürdürmeli, çıkarım için kullanılan yöntem, uzman ve analiste uygulama kolaylığı ve hız kazandırmalıdır.

4.3.3 Şartlı olasılık tablolarının oluşturulması

Olay olasılıklarının ortaya çıkarılabilmesi için uzmanlara belirli bir taslak üzerinden sorular yöneltilir. Olayların birbiri ile arasında yalnızca 0 ya da 1 olasılık değerlerinden oluşan hata ağacı mantığındaki olasılık ilişkileri varsa uzmanlarla ve-veya şartlarının tanımlanması için genel durum sorgulamaları yapılarak, şartlı olasılık değerleri tanımlanır.

Hata ağacından birbirine 'VE kapısı' ile bağlı olduğu görülen A ve B olaylarının X olayı ile birlikte oluşturdukları şartlı olasılık tablosunun oluşturulması için uzmanla yapılacak olan sorgulama ve çıkarım süreci aşağıdaki gibidir:

Genel durum sorgulaması:

- X olayının gerçekleşmesinin bağlı olduğu A ve B olayları ile arasındaki olasılıksal ilişki nasıl açıklanabilir?

Cevap: X olayı ancak ve ancak, A ve B olaylarının bir arada gerçekleşmesi ile meydana gelir. Diğer bir deyişle, A ve B olaylarının gerçekleşmesi X olayının mutlaka gerçekleşmesine neden olur.

Çıkarım: A ve B olayları X olayına 'VE kapısı' ile bağlı olup, şartlı olasılık çıkarımları denklem 4.1'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(X_{Evet}|A_{Evet}, B_{Evet}) &= 1 \\ P(X_{Evet}|A_{Evet}, B_{Hayır}) &= 0 \\ P(X_{Evet}|A_{Hayır}, B_{Evet}) &= 0 \\ P(X_{Evet}|A_{Hayır}, B_{Hayır}) &= 0 \end{aligned} \tag{4.1}$$

Hata ağacında birbirine 'VEYA kapısı' ile bağlı olduğu görülen A ve B olaylarının X olayı ile birlikte oluşturdukları şartlı olasılık tablosunun oluşturulması için uzmanla yapılacak olan sorgulama ve çıkarım süreci ise aşağıdaki gibidir:

Genel durum sorgulaması:

- X olayının gerçekleşmesinin bağlı olduğu A ve B olayları ile arasındaki olasılıksal ilişki nasıl açıklanabilir?

Cevap: A ya da B olaylarından en az birinin meydana gelmesi X olayının mutlaka ortaya çıkacağını gösterir.

Çıkarım: A ve B olayları, X olayına 'VEYA kapısı' ile bağlı olup, şartlı olasılık çıkarımı da denklem 4.2'deki gibidir.

$$\begin{aligned} P(X_{Evet}|A_{Evet}, B_{Evet}) &= 1 \\ P(X_{Evet}|A_{Evet}, B_{Hayır}) &= 1 \\ P(X_{Evet}|A_{Hayır}, B_{Evet}) &= 1 \\ P(X_{Evet}|A_{Hayır}, B_{Hayır}) &= 0 \end{aligned} \tag{4.2}$$

Cevap: X olayı A ve B olaylarından yalnızca birinin meydana gelmesiyle ortaya çıkacaktır. Diğer bir deyişle A ve B olaylarının bir arada gerçekleşme imkânı yoktur.

Çıkarım: Belirtilen durumdaki şartlı olasılık çıkarımı denklem 4.3'teki gibidir.

$$\begin{aligned} P(X_{Evet}|A_{Evet}, B_{Evet}) &= 0 \\ P(X_{Evet}|A_{Evet}, B_{Hayır}) &= 1 \\ P(X_{Evet}|A_{Hayır}, B_{Evet}) &= 1 \\ P(X_{Evet}|A_{Hayır}, B_{Hayır}) &= 0 \end{aligned} \tag{4.3}$$

Bir olayın nedenlerine bağlı gerçekleşme olasılığı için 0 ya da 1 olasılık değerlerinden farklı değerler söz konusu ise, diğer bir deyişle, şartlı olasılık tablosunun her bir hücresi için ayrı sorgulama yapmak gerekiyorsa, uzmanlara belirli bir taslak üzerinden sorular yöneltilir. Öncelikle olayın ebeveyn değişkenlerinin oluşturduğu en iyi senaryo ile en kötü senaryoya dair yapılan sorgulamalar yapılıp, ebeveyn değişkenlerinin diğer durum kombinasyonlarının sorgulanması ile sürece devam edilir.

Olayların olumlu ve olumsuz olmak üzere yalnızca iki durumda bulunabilmeleri varsayımı altında, şartlı olasılık tablo değerlerinin sorgulanması için taslak aşağıdaki gibi oluşturulur:

En iyi senaryo sorgulaması:

- A ve B olayının olumlu durumları altında X olayının gerçekleşmesi hakkında olasılıksal olarak ne söylenebilir?

En kötü senaryo sorgulaması:

- A ve B olayının olumsuz durumlarının meydana gelmesi halinde, X olayının gerçekleşmesi hakkında olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Diğer durum kombinasyonları sorgulamaları:

- A olayının olumlu ve B olayının olumsuz durumunun oluşturduğu koşullar altında, X olayının gerçekleşmesi hakkında olasılıksal olarak ne söylenebilir?
- A olayının olumsuz ve B olayının olumlu durumunun oluşturduğu koşullar altında, X olayının gerçekleşmesi hakkında olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Böylelikle analist-uzman iş birliği ile Çizelge 4.1'de görülen şartlı olasılık tablosunun doldurulması sağlanır.

Çizelge 4.1 : Analist-uzman iş birliği ile oluşturulan şartlı olasılık tablosu taslağı.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
A	A (+)		A (-)	
B	B (+)	B (-)	B (+)	B (-)
X (+)				
X (-)				

Analistin, Uzmanların Sorgu Algısını Kontrolü:

Soru uzmanlara yöneltildikten sonra, analist de grubun bir üyesiymiş gibi hep beraber X olayı şartları üzerine konuşulur. Analist, çıkarım için doğru düşünsel zemini oluşturmaları adına uzmanların X olayının gerçekleşmesine dair şartları doğru algılayıp algılamadıklarını kontrol eder.

Uzmanların Çıkarım Süreci:

Uzmanlar, olasılık değeri üretmek için hem Şekil 4.4'te gösterilen olasılık ölçeğinden (çubuk çizelgelerden), hem de Çizelge 4.1'de gösterilen sorgulama tablolarından yararlanırlar. Sunduğu görsellikle tüm yöntemlerden hız ve doğruluk bakımından üstün bir çıkarım süreci sunan çubuk çizelgeler, uzmanların düşünsel olarak yaptıkları doğrudan olasılık değerlendirmelerine yardımcı olmaktadır. 0-1 sınır değerlerine sahip

olasılık ölçeği üzerinde, 0,1 büyüklüğündeki aralıklarla 9 ara değer sunulur ve ölçek üzerinde gerektiği kadar işaretleme ve not alma imkânına sahip oldukları uzmanlara bildirilir. Uzmanlar, 0-1 arasında aynı olmayan olasılık değerleri çıkarımlamak istediklerinde, büyüklük küçüklük açısından gerektiği kadar farklı değerler sunarak olasılık çıkarımları yapabilirler. Çıkarımlarını yatay çubuk halindeki ölçek üzerinde görmeleri, uzmanların sayısal muhakeme yeteneklerini arttırmaktadır.

Literatürde de olasılık ölçeğinin çıkarım araçları içerisinde en doğru ve hızlı çıkarım sürecini sunan olasılık çıkarım aracı olduğu belirtilmektedir (Wang, 2004). Bu sebeple analiz metodolojisinde doğrudan çıkarım yöntemi olan olasılık ölçeği temelli bir yöntem önerilmiştir. Olasılık ölçeği üzerinde isterse işaretlemeler yaparak, kendi çıkarımlarını gözlemleyebilen uzman, çıkarım süreci içinde istediği zaman çıkarımlarını düzenleyebilme fırsatına sahiptir.

Uzmanların çıkarımları, ölçek üzerinden ve analistin karşılaştırmalı soruları üzerinden doğrulama süreçleri ile adım adım gerçekleştirilir.

4.3.4 Şartlı olasılık değerlerinin tutarlılık kontrolleri

Uzman yargılarından değişkenler arasındaki ilişkilerin çıkarımlanması sürecinin dikkatli yapılmaması, zayıf kalitede grafik modellerin ortaya çıkmasıyla sonuçlanabilir (Wang, 2004). Bu sebeple çalışma boyunca yapılan çıkarımlarda, sürekli sorgulamalı karşılaştırmalar yapılarak değerlerin tutarlılığı sağlanmaya-doğrulanmaya çalışılır ve sübjektif olasılık değerlerinin tutarlılığın sağlanması çıkarım sürecinin en önemli aşaması olmuştur.

Uzmanlar aracılığıyla ortaya çıkartılan sübjektif olasılık değerleri tutarlılıklarının, üç şekilde kontrol edilebileceğine karar verilmiştir.

4.3.4.1 Benzer şartlı olasılık değerleri alan durum kombinasyonlarının ikili karşılaştırmalarla tutarlılık kontrollerinin yapılması

Analistin, olasılık tablolarında aynı ya da yakın olasılık değerlerin atandığı şartlı durumları, uzmanlara ‘karşılaştırmalı sorgulama’ için sunmasıdır. Analist eşliğinde kontrolleri ‘sınırlandırılmış ikili karşılaştırmalar’la sağlanan olasılık çıkarımları aşağıdaki gibi gerçekleştirilir:

Analist Tarafından Karşılaştırmalı Sorgulama:

Analist uzmana, “X şartları altındaki A olayı ile Y şartları altındaki B olaylarının, gerçekleşme ihtimalleri aynı mıdır?” ya da “X’ şartları altında A olayının gerçekleşme ihtimali, Y şartları altındaki B olayının gerçekleşme ihtimalinden fazla mıdır-düşük müdür?” şeklinde sorgulamalar yöneltir.

Analistin, uzmanlara yukarıdaki sorguyu yöneltmesinin ardından, uzmanların bu eşitlik ya da eşitsizlik sorgusunu doğrulayamamaları durumunda, yargılarında bir tutarsızlık tespit edilmiş olacaktır. Bu tutarsızlığın düzeltilmesi için, sorulan değerlerin her iki çıkarım tablosu uzmanlara tekrar sunulur ve çıkarımlarını düzenleme fırsatı tanınır.

Uzmanların analistin eşitlik ya da eşitsizlik sorgusunu doğrulamaları halinde ise analist, sorgulamayı farklı bir eşitsizlik sorgulaması ile uzmanların sıkılmasına neden olmadan, gerektiği ölçüde sürdürebilir.

4.3.4.2 Her olaya dair oluşturulan şartlı olasılık tablolarının bütünsel olarak (sıralamalı) kontrol edilmeleri

Bayes ağlarının olaylar arasındaki ilişkileri belirlerken değişkenlerin farklı durumlarını ve değişkenler arasındaki etkileşimleri dikkate alabilmesi yeteneği, uzmanların gerçek olaylara dayanan durumlara dair oluşan bilişsel farkındalıkları ile ortaya çıkar. Uzmanların sorgulanan olaylara yönelik algısını kuvvetlendirmek ve tutarlılık kontrolleri yapabilmek için Çizelge 4.1 formatına ek olarak Çizelge 4.2’de görülen çıkarım tablolarından da yararlanılmıştır. Bu tablolar uzmanların sundukları yargıları bütünsel olarak görebilmelerini ve belli bir olay üzerinde etkiye sahip olayların farklı durumsal çeşitlilikleri ile oluşturdukları etkileşimli olay birleşimlerine daha iyi motive olabilmelerini sağlar. Sorgulanan olayın gerçekleşmeme olasılığına dair ilgili satır ve sütunlar özellikle bulunmaktadır. Çünkü, çıkarım için grup tartışmaları esnasında, olasılık belirlemelerinin tümünün gözlemlenmesi, uzmanların sundukları olasılıklara dair hakimiyetlerini arttırmaktadır. Ayrıca, uzmanlar her olasılık çıkarımını grup içi karar verme sürecinde yapacakları tartışmalarla, fikirlerini ödünleşik bir noktaya taşıdıkları için, olası **yanlı yargılarını** fark edip düzenleme fırsatı bulacaklardır. Örneğin Çizelge 4.2’de analistin uzmanlara yönelttiği X şartları altında A olayının gerçekleşme olasılıklarının yansıtılacağı sorgu tablosu görülmektedir. A olayını etkileyen X1, X2 ve X3 olaylarının olması durumunda, bu

olayların farklı durumsal kombinasyonlarına göre çıkarımları çizelgede doğrudan ve bir kerede görülebilmektedir.

Çizelge 4.2 : Şartlı olasılıklar için örnek tutarlılık sorgulama tablosu.

X1	X2	X3	P(A)	P(A')
X1 (+)	X2 (+)	X3 (+)		
X1 (+)	X2 (+)	X3 (-)		
X1 (+)	X2 (-)	X3 (+)		
X1 (-)	X2 (+)	X3 (+)		
X1 (+)	X2 (-)	X3 (-)		
X1 (-)	X2 (+)	X3 (-)		
X1 (-)	X2 (-)	X3 (+)		
X1 (-)	X2 (-)	X3 (-)		

4.3.4.3 Tüm şartlı olasılık tablolarının en iyi ve en kötü koşullar altındaki hücre değerlerinin tutarlılık kontrollerinin yapılması

Tüm olasılık çıkarımları sona erdikten sonra olaylar arasındaki ilişkilerin en iyi ve en kötü senaryoları altındaki olasılık değerleri incelenir. Olayların meydana gelebilecekleri en iyi ve kötü şartların ve ilgili şartlarla ilişkili olayın gerçekleşme olasılığı bilgilerinin listelenmesi sağlanır. Böylelikle, çıkarım süresince hangi olasılık değerlerinin hangi sıklıkla hangi durum kombinasyonları için kullanıldığı incelenebilir.

Çubuk çizelgeler ve çıkarım tabloları ile uzmana hem değerlendirilen unsur hem de olasılık değerleri açısından görsel hakimiyet kazandırılmaktadır. Diğer yandan grup içi verdikleri ödünleşik karar vermelerle ve tekrarlı karşılaştırmalı sorgulamalarla Delphi tekniğindeki gibi, uzmanların yanlı yargılarını kontrol etmeleri için fırsat tanınmaktadır. Dolayısıyla uzmanların, yanlı yargılarına dair farkındalıkları ve kontrolleri ilk olarak grup içi karar verme aşamasında sağlanır. İkincil olarak da analist tarafından yapılan karşılaştırmalı, bütünsel ve genel sorgulamalarla, uzmanlar çıkarımlarına dair tutarsızlığın olduğu durumları düzeltme fırsatı bulurlar. Böylelikle, çalışma kapsamında önerilen "analist destekli ve tutarlılığı karşılaştırmalı sorgulamalarla kontrol edilen olasılık çıkarım yöntemi", literatürdeki çeşitli çıkarım yöntemlerinin avantajlarını bir araya getirmiş kombine bir yöntem olarak kabul edilebilir.

İyi bir çıkarım aracının uzmanın, kendi tercihlerine göre, yargılarında rahatça ayarlama yapabilmesi gerektiği önerilmiştir (Wang, 2004). Wang (2004) çalışmalarında, uzmanların bilgisayardan yönettikleri çubuk çizelgelerle, çok küçük olasılıklar için

bilgisayar imlecini oynatmanın zorluğunu yaşamalarından, küçük değerleri doğrudan çıkarım yöntemiyle elde edip elle girmeleri sağlanmıştır. Benzer şekilde, bu tez çalışmasında önerilen olasılık çıkarım yönteminde de uzmanların yargılarında kullanacakları olasılık değerlerinin büyüklüklerini görsel olarak da anlamalarına yardımcı olan çubuk çizelgelerden yararlanmaları sağlanmış ve şartlı olasılık tablolarını özgürce doldurmaları için imkân tanınmıştır. Analistin karşılaştırmalı sorularıyla, tutarlılığa aykırı yanıtların uzmanlarca fark edilmeleri sağlanıp, gerekli düzeltmeleri yapmaları için müdahale imkânı sağlanmıştır.

Uzman görüşleri ile gerçekleştirilen Bayes ağları çalışmalarında, analistin etkisinin asla ortadan kaldırılamayacağı, sonuçların hem uzmanların hem de analistin bilgi ve görüşlerini yansıtacağının farkında olmak gereklidir (Hänninen ve diğ., 2014b). Bu yüzden bu tez kapsamında uzmanların ve analistin iş birliği içinde yanlı yargılar ve tutarsızlıklardan olabildiğince bağımsız tutulmaya çalışıldığı, analistin ve uzmanların bireysel etkilerini mümkün olduğunca minimuma indiren bir çıkarım yöntemi önerilmiştir. Aynı çalışmanın, farklı uzmanlar ve farklı bir analistle gerçekleştirilmesi durumunda aynı olasılık değerlerine ulaşılmasa bile, Bayes Ağları Analizi'nin aynı ilişkisel sonuç çıkarımlarına ulaşılacağı öngörülmektedir.

4.3.5 Kaza şiddetlerinin kaza değişkenlerine yansıtılması

Bayes ağları ile risk analizi yapılan çalışmaların büyük çoğunluğu kaza sonuçlarını ele almamaktadır. Bu çalışmada sunulan risk analizi metodolojisinin, diğer çalışmalardan farkı çoklu üst-olayın araştırmaya katılmasıdır. Meydana gelmesi beklenen kazaların, her birinin şiddet çıktısının aynı olmasının beklenmeyeceğinden dolayı, tüm olayların farklı seviyelerdeki şiddetlerini çalışmaya dahil etmek, çoklu olay risk analizinin Bayes ağı üzerinde hem olasılık hem de şiddet yönünden değerlendirilmesini sağlayacaktır.

Çok az çalışma, olayların meydana gelmeleri halinde yaratacakları şiddetleri ağa yansıtmıştır. Norgard ve Sand (2010), elektrik dağıtım sisteminin bakım yönetimi ile ilişkili yaptıkları risk analizi çalışmasında kaza şiddetlerini ağa yansıtmışlardır. Yazarlar, olası bir kaza durumunda kazayı durdurucu unsurun bulunması ve çalışanların koruyucu giysi giymeleri durumuna göre değişen yaralanma şiddetini de ağa ekleyerek ağın çıktısını "yaralanma olmaması, düşük şiddette yaralanma olması ve şiddetli yaralanma olması" olasılığını gösterir değişken olarak belirlemişlerdir.

Chen ve diğ. (2015) ise çalışmalarında, olası kazayı belirten değişkene, "minör, majör, kritik ve felaket" olarak tanımlanmış kaza şiddetlerini gösterir durum ataması yapmışlardır. Tong ve diğ. (2018) ise, maden gaz patlaması kazasına dair yaptıkları Bayes ağı incelemesinde, patlama şiddetini ağa "ciddi, orta ve hafif" olarak yansıtmışlardır.

Kaza şiddetlerinin "yaralanma olmaması, düşük yaralanma olması ve şiddetli yaralanma olması" şeklinde seviyelendirilmesi ya da "geçici-kalıcı iş göremezlik" durumlarına göre ele alınması mümkündür.

4.3.6 Kazaların faaliyetlere göre değişen risk-etki seviyelerinin belirlenmesi ve faaliyet risk değerlendirmesi formülasyonu

Metodoloji kapsamında risk analizine çoklu süreçler içerisinde meydana gelebilecek kazalar dahil edilmiştir. Bu kazaların her birinin çalışana zarar verme şiddetinin farklı olmasına ek olarak, çalışanların her faaliyet için olaylara farklı seviyelerde maruz kalmaları da söz konusudur. Bu durumda, olayların çalışanları içinde bıraktıkları ve faaliyetlere göre değişen risk-etki seviyelerinin belirlenmesi gerekir.

Risk-etki seviyelerinin belirlenmesinde iki unsur ön plana çıkmaktadır:

- Faaliyetin süresi
- Kazaların, çalışanları, faaliyetlere göre farklı etki alanları içinde maruz bırakmaları

Farklı faaliyetleri yerine getiriyor olsalar da aynı şartlar altında faaliyet gösteren iki çalışanın, belli bir kazayı yaşama olasılıkları Bayes ağı hesaplamalarına göre eş değer olarak bulunacaktır. Fakat faaliyetlerin gerçekleştirilme süresi ve faaliyetin kazaya elverişliliği etkenlerine bağlı olarak değişen risk değerlerine ulaşılması gerekir. Bu sebeple, sürdürülen faaliyetin mesai içindeki süresi ve kazanın çalışanı faaliyet kapsamında etkisi altında bırakma gücü, çoklu süreçler dahilinde ele alınan kazaların risk analizine nicel olarak dahil edilmelidir. Dolayısıyla kazaların, çalışanları, faaliyetlere göre farklı etki alanları içinde maruz bırakmalarına dair belirlemeler yapabilmek, her faaliyet-kaza çifti için risk-etki ağırlıklarının belirlenmesini gerektirir.

"Faaliyetin gerçekleştirilme süreleri" kolaylıkla belirlenebilirken, faaliyetlerin kazalara dair risk-etki ağırlıkları için uzmanların görüşlerine ihtiyaç duyulur. Risk-etki ağırlıkları için, "çalışanın sürdürdüğü faaliyet sebebiyle ilgili kazanın tehlikesine

maruz kalma derecesi" ya da "çalışanın sürdürdüğü faaliyet kapsamında ilgili olayın risk etki alanı içinde bulunma derecesi" denebilir. Faaliyetler süresince çalışanların kazaların risk etki alanı içinde bulunmaları dereceleri için "doğrudan, dolaylı, uzaktan dolaylı ya da risk alanı içinde bulunmama" ifadeleri kullanılabilir. Diğer bir deyişle, her kaza ve faaliyet kombinasyonu için;

- "Çalışan, a faaliyetinde bulunurken, ilgili kazanın doğrudan risk-etki alanı içinde olur",
- "Çalışan, a faaliyetinde bulunurken, ilgili kazanın dolaylı olarak risk-etki alanı içinde olur",
- "Çalışan, a faaliyetinde bulunurken, ilgili kazanın uzaktan dolaylı bir şekilde risk-etki alanı içinde bulunur" ya da
- "Çalışan, a faaliyetinde bulunurken, ilgili kazanın risk etki alanı içinde bulunmaz" ifadelerinden birinin ataması yapılabilir.

Faaliyetler bazında risk değerlendirmeleri yapabilmek için, faaliyetler kapsamında maruz kalınan kaza-faaliyet risk-etki ağırlıklarının belirlenmesi gerekir. Bu hesaplama için, denklem 4.4'te sunulmuş olan formülasyon kullanılır.

"i", ağ kapsamında ele alınmış kazaları, "j" ağda bulunan faaliyetleri göstermek üzere,

$$r_i^j = wt^j * \lambda_i^j \tag{4.4}$$

r_i^j : "i" kazasının "j" faaliyetindeki risk-etki ağırlığı

wt^j : "j" faaliyetinin mesai süresi içerisindeki süre temelli ağırlığı

λ_i^j : "i" kazasının "j" faaliyeti kapsamında çalışanı risk-etki alanı içinde bulundurma seviyesi

Böylelikle her kazanın, her faaliyet kapsamında bir risk-etki ağırlığı bulunmuş olur.

İlgili süreçlerde meydana gelebilecek tüm kazaların olasılıklarıyla beraber bir arada değerlendirilebilmesi için, faaliyet risk ağırlıkları denklem 4.5'te görüldüğü gibi hesaplanır.

$$\sum_i (r_i^j * p_i) = r^j \tag{4.5}$$

r^j : "j" faaliyeti altında gerçekleşen tüm kazalara bağlı risk değeri

Faaliyet risk değerleri ancak, faaliyetler bütünü içinde yorumlanabileceğinden dolayı denklem 4.6'da görüldüğü gibi normalizasyon yapılır ve her faaliyet için genel risk ağırlığı bulunur.

wr^j : "j" faaliyeti genel risk ağırlığı

$$wr^j = \frac{r^j}{\sum_j r^j} \tag{4.6}$$

4.3.7 Risk kontrol seçenekleri ile ilişkili parametreler

Sistem risklerini yönetebilmek için ağa risk kontrol seçenekleri eklenmiştir. Risk kontrol seçeneklerinin ağ içinde analizleri yapılarak, risk azaltma ya da ortadan kaldırma ile ilgili uygun stratejilerin belirlenebilmesi sağlanır. Bu sebeple, risk kontrol seçenekleri ile ilgili tüm parametrelerin oluşturulması gerekir. Ağa yapılan bu müdahaleler, ağ içinde değişken eklenmesi ya da değişken çıkartılmasına ya da değişkenlerin durumsal değerlerinde ve olasılık bilgilerinde değişikliklere yol açacaktır. Sistem içinde deneysel uygulaması kolay olmayan ya da imkânsız olan risk önleme ya da azaltma unsurlarının, sistem risklerini yansıtan Bayes ağı üzerinden ele alınması, maddi olarak ve zamansal anlamda büyük avantajlar sağlayacaktır. Ağa eklenen risk kontrol seçeneklerinin, ağ güvenlik seviyesine olan yansımalarının kapsamlı olarak incelenmesi gerekir. Bu yüzden risk müdahalelerinin ağda yarattıkları her değişiklik ile ilgili parametrelerin benzer yöntemlerle dikkatlice oluşturulması gerekir. Bayes ağı değişkenlerinde yapılacak küçük bir değişiklik bile, ağ içerisinde önemli yansımalara sebep olacağından, ortaya çıkan yeni ilişkilere dair parametreler dikkatle belirlenmeli ve bu parametrelerin de tutarlılık kontrolleri yapılmalıdır.

4.3.8 Kök nedenlerin öncül (marjinal) olasılıklarının belirlenmesi

Bayes ağlarının niceliksel analizi için ebeveyni olmayan diğer bir deyişle kendisini etkileyen başka bir değişkene sahip olmayan değişkenlere dair belirlenmesi gereken olasılık değerleridir. Bu yüzden marjinal olasılıklara, 'değişkenlerin şartlı olmayan olasılığı' da denir (Jones ve diğ., 2010).

Değişkenler arasındaki ilişkileri gösteren şartlı olasılık tablo parametrelerinin belirlenebilmesi için aşılan zorlu olasılık çıkarım sürecinin ardından, kök neden öncül

olasılıklarının tanımlamaları, diğer bir deyişle kök nedenlere marjinal-öncül olasılık atamaları yapılır. Öncül olasılık verileri, ağ içinde ele alınan üst olayın mevcut durumunu belirlemek için ve duyarlılık analizi yapabilmek için kullanılır. Mesleki iş kazalarına dair risk analizi yapabilmek amacıyla gerçekleştirilen bu çalışma kapsamındaki öncül olasılık atamaları, kazalara dair mevcut durumların ortaya çıkarılması ve kök nedenlerin istenmeyen olaylara etkilerinin belirlenmesi amaçlarını taşımaktadır.

Öncül olasılıkların belirlenebilmesi için veri kaynakları literatür, geçmiş veri istatistikleri ve uzman görüşleri olabilmektedir. Ağ uzman yargıları ile kurulmuş olsa da kök nedenlerin öncül olasılıkları için istatistiksel veriye sahip olunabilir. Örneğin Zhang ve diğ. (2018)'nin çalışmasında kullanılan "gün içindeki zaman" değişkenine ait gece ve gündüz durumlarının öncül olasılıklarının 0,5 ve 0,5 olacağı bellidir. Ya da hava durumuna dair çeşitli olasılıkların meteoroloji verilerinden çekilebilmesi ve cinsiyet değişkenine ait "kadın-erkek" durumlarına dair olasılıkların da mevcut istatistiklerden elde edilmesi mümkündür. Doğrudan bilinemeyen ya da istatistiksel olarak erişilemeyen değişkenlere dair öncül olasılıklar ise, uzmanlar ve analistler tarafından iş birliği halinde belirlenir. Kök nedenlerin mevcut durumlarına dair yapılan ayrıntılı tanımlamalarla beraber analiz ile hedeflenen amaçlar doğrultusunda öncül olasılık atamaları referanslarıyla birlikte sunulmalıdır.

Öncül olasılık değerlerine ve ağ içindeki olayların aralarındaki sebepsel ilişkilere göre Bayes ağında incelenen olayların olasılık değerleri hesaplanabilecektir. Gerektiği ölçüde, kök nedenlerin aldığı durumlara göre çeşitli senaryolar oluşturularak, ağın duyarlılık analizini yapmak konu ile ilgili önemli tespitlere ulaşılmasını sağlayacaktır.

4.4 Ağ Hesaplamaları

Risk analizi metodolojisi için, Bayes ağları ve uzman yargıları ile oluşturulmuş tüm parametrelerden sonra aşağıdaki belirlemeler yapılabilir.

- Sistemin mevcut durumdaki şartları altında kaza olasılıkları ve şiddetleri
- Kök nedenlerin kaza olasılıklarına olan etkisi
- Kök nedenlerin kaza şiddetleri üzerine etkisi
- Farklı senaryolara bağlı olarak, kaza olasılıklarındaki değişiklikler

- Kazaların faaliyetlere göre değişen risk-etki seviyeleri
- Faaliyet riskleri
- Risk kontrol seçeneklerinin ağ içindeki kazalara olan etkileri
- Risk kontrol seçeneklerinin faaliyet risklerine etkileri

5. YERALTI MADENCİLİĞİ MESLEKİ GÜVENLİK RİSK ANALİZİ

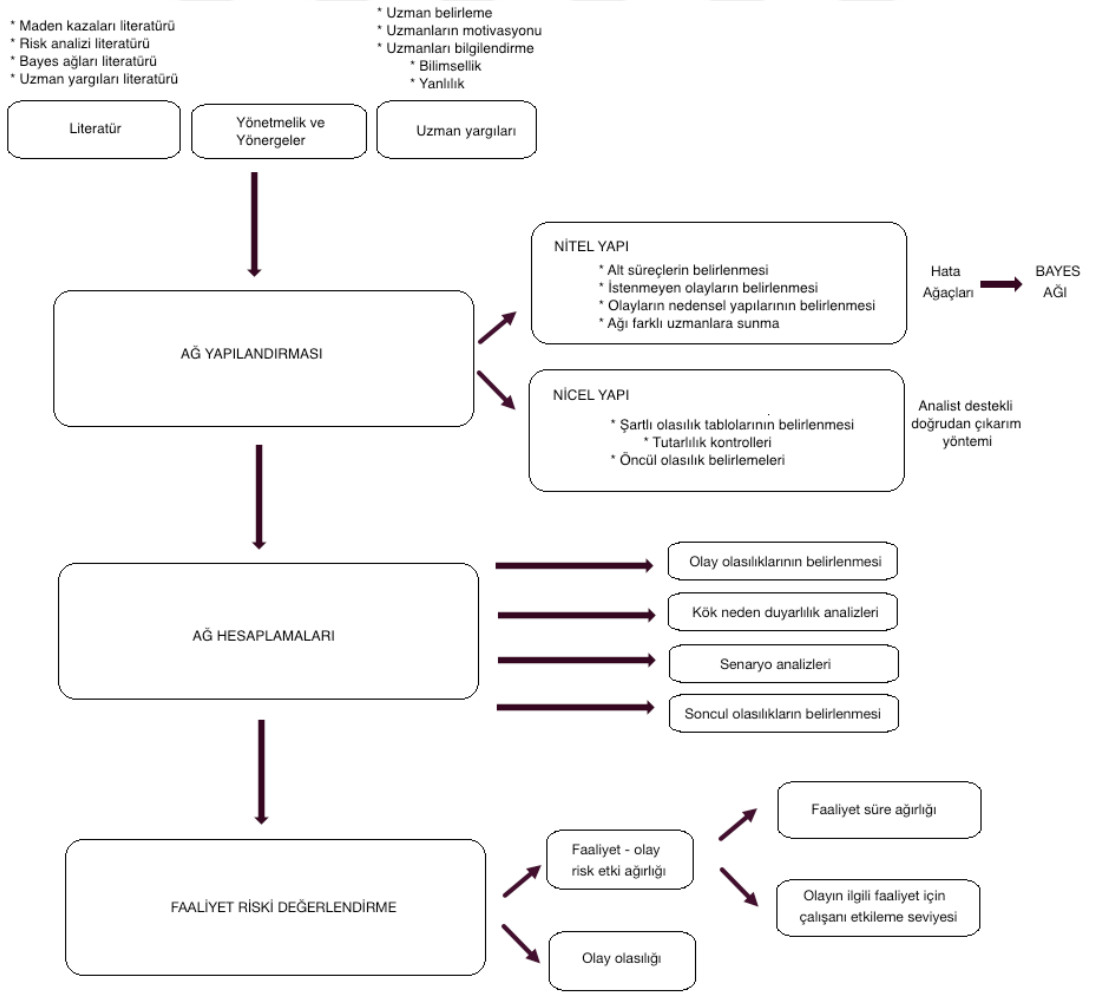
Madencilik sektörü, inşaat sektöründen sonra yaralanmaların ve ölümlü kazaların en fazla meydana geldiği sektördür. Gelişmiş ülkelerde madencilik alanında, mesleki sağlık ve güvenlik konusunun son yirmi yıldır oldukça irdelenmesine rağmen, kazalar ve hastalıklar kabul edilemeyecek sıklıkla halen yaşanmaya devam etmektedir (Komljenovic ve diğ., 2017; Samantra ve diğ., 2016; Boudreau-Trudel ve diğ., 2014). Madencilik sektörünün zorlu şartlarından dolayı, gelişmiş risk analiz çalışmalarına ve uygulanabilir metodolojilere ihtiyaç duyulduğu literatürde de vurgulanır (Nawrocki ve Jonek-Kowalska, 2016).

Çalışma şartlarının zorlu oluşu, maden faaliyetleri süresince, geçici ya da kalıcı iş göremezlik durumlarının yanı sıra raporlaması yapılmayan pek çok yaralanmanın da meydana gelmesine neden olmaktadır. "Kayıt altına alınmayan kazalar (Under-reporting accidents)" olarak ifade edebileceğimiz bu olaylar sebepli, yalnızca kayıt altına alınmış kazaları içeren geçmiş verileri kullanarak analiz yapmak, çalışmaların güvenilirliğini etkileyecektir.

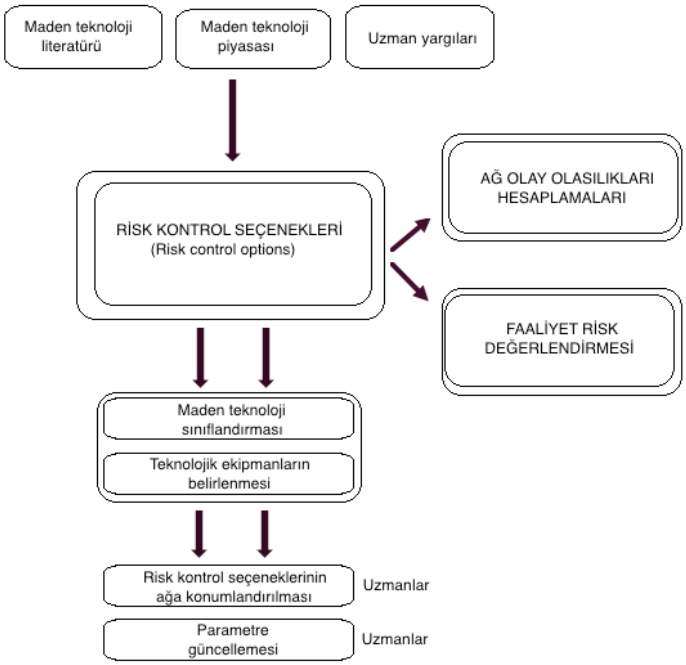
Sonucu çoğunlukla ölüm ya da sakatlanma olmadığı için kayıt altına alınmayan kazalar, güvenilir bir risk analizi yapmanın temel noktasının, çalışmanın uzman görüşlerine dayandırılması gerçeğini ortaya çıkarmıştır. Bu sebeple incelemelerin kazalarla ilgili uzman görüşlerinin de dikkate alınarak yapılması, madencilik sektörü gibi çalışma şartlarının zorlu olduğu sektörlerde yapılan kaza analizleri için yerinde bir yaklaşımdır. Dolayısıyla, çalışmanın temel motivasyonu, sıklığı ya da şiddeti ne olursa olsun, çalışanlara zarar verme ihtimali bulunan her türlü istenmeyen olayın kapsamlı bir şekilde incelenmesi olmuştur. Bu motivasyon altında öncül amaç, Khakzad ve diğ. (2011)'nin önerdiği gibi, öncelikle kazaları ayrıntılı tanımlayabilmek ve kazaların meydana geliş nedenlerini keşfetmek olarak belirlenmiştir. Çalışmanın literatüre uygun hedefi ise, özellikle tehlikeli sektörler kapsamında ele alınan karar verme problemlerinde ekonomik ve çevresel amaçların yanında, sosyal amaç olarak yer alabilecek "mesleki güvenlik riski" ni belirlemeye yönelik kapsamlı bir risk analizi metodolojisi sunabilmektir. Sürdürülebilirliğin madencilik gibi yatırım ve çevresel

maliyetleri ile güvenlik riski çok yüksek olan bir sektör için üç ayağıyla birlikte ele alınabilmesi, sosyal unsurların sayısallaştırılmasındaki zorluğa rağmen, hayati bir önem taşımaktadır.

Çalışma kapsamında yukarıda belirtilen motivasyon ve amaçlar doğrultusunda, bir sistem içerisindeki çalışanlara, şiddet seviyesi önemsiz olmak üzere, sistemin faaliyetleri sebebiyle zarar verebilecek her türlü istenmeyen olayın risk analizini yapabilmek üzere, bir önceki bölümde sunulan metodoloji oluşturulmuştur. Metodolojinin, sistem içerisindeki olası iş sağlığı ve güvenliği ile ilişkili mesleki kazalara ilişkin bir risk çözümleme prosedürü olarak da ele alınabileceği söylenebilir. Metodolojinin çalışma kapsamındaki yeraltı madenciliği mesleki güvenlik risk incelemesini yapabilmek üzere kullanımı ağ analizi ve risk kontrol analizi olarak Şekil 5.1 ve Şekil 5.2'de ayrı akışlar halinde sunulmuştur.



Şekil 5.1 : Yeraltı madenciliği mesleki güvenliği risk analiz akışı.



Şekil 5.2 : Teknolojik ekipmanlarla risk kontrol değerlendirmesi için analiz akışı.

Çalışmanın devam eden bölümlerinde, madencilik sektörü mesleki güvenlik risk değerlendirmesi için oluşturulan metodoloji kapsamında gerçekleştirilen analiz sunulmuştur.

5.1 Analiz İçin Hazırlık Aşaması

Tez çalışması kapsamında, endüstriyel faaliyetler sebebiyle çalışanların güvenlik ve sağlığını risk altında bırakan sistemin her türlü faaliyeti göz önüne alınarak, mesleki güvenlik risk profilini değerlendiren ve ancak faaliyet uzmanlarının aracılığıyla uygulanabilecek bir risk analizi metodolojisi sunulmuştur.

Madencilik sektörünün çalışma şartlarının zorlu oluşu ve dünya genelinde en fazla ölümlü iş kazasının yaşandığı sektör olmasından dolayı, maden faaliyetleri kapsamında mesleki güvenlik riski analizi yapılmasına karar verilmiştir. Madencilik sektörü, Şekil 5.3'te görüldüğü gibi, madenin keşfini, çıkarım için stratejik planlanmasını, madenin çıkartımını, cevher kalitesini arttırmak için sınıflandırıldığı ve konsantre süreçlerinin gerçekleştirildiği işletme tesislerindeki süreçlerini ve ürünün farklı alanlarda kullanılabilmek üzere çeşitli endüstrilere gönderimi aşamalarına sahiptir. Elde edilen nihai ürünün ihtiyaç duyulan endüstrilere gönderimi de karayolu, demiryolu, boru ya da denizyolu taşımacılık kullanımı ile gerçekleştirilir (Pimentel ve diğ., 2016; Zuñiga ve diğ., 2015).



Şekil 5.3 : Madencilik sektörü operasyonel akışı.

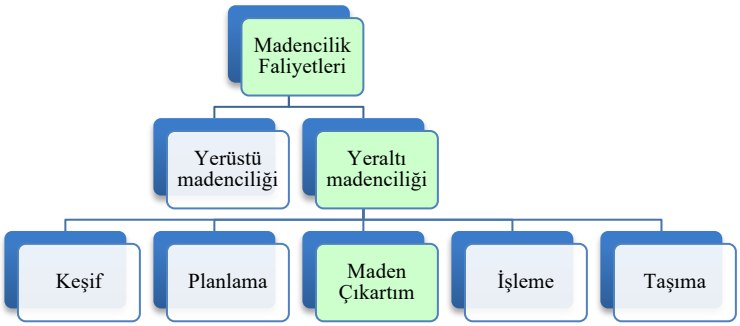
Madencilik faaliyetleri, yeraltı ve yerüstü madenciliği olarak ikiye ayrılmaktadır:

Yeryüzü madenciliği- açık ocak madenciliği: Cevherin yeryüzüne yakın olması durumunda uygulanır ve uygulaması tarihte çok eski zamanlara kadar dayanır. Yeraltı madenciliğinden daha verimli yöntemlerle madene ulaşılabilir. Yeryüzü madenciliği yeraltı madenciliğine göre daha yaygındır ve daha düzgün ve karmaşık olmayan metotlarla faaliyet gösterir. Cevherin çıkartılması esnasında üretim, kapasite ve kısıtlarla birlikte net değer maksimize edilmeye çalışılır (Bjørndal ve diğ., 2012). Açık ocak maden işletmelerinin sabit maliyetlerinin daha düşük olmalarına karşın, önemli miktarda atık çıkmasına neden olmaktadır (Newman ve diğ., 2010). Ocak, Türk Dil Kurumu tarafından, "Yer üstünde veya yer altında cevher çıkarılan yer" olarak tanımlanırken (Url-1), Eti Maden tarafından da "dik kuyu ve diğer girişler, meyilli kuyular, düz ve meyilli galeriler ile birlikte, yeraltı hafriyat ve imalâtını kapsayan; madencilik faaliyetini yapmak için belli bir projeye göre hazırlanmış iş yeri" (Url-2) olarak tanımlanır.

Yeraltı madenciliği: Faaliyetleri sebepli, bir madende atıkların cevhere olan oranı çok yüksek olmaya ve atık depolama için alan yetersizliği yaşanmaya başladığında, ocak duvarları çökmeye veya çevresel endişeler çıkartılan faydadan daha ağır gelmeye başlar ve maden maliyetleri oldukça yükselebilir. Bu durumda, yer altı madenciliği gündeme gelir (Newman ve diğ., 2010). Yeraltı madenciliği çok daha karmaşıktır, cevher yapısının doğasına ve cevheri çevreleyen kayaç yapısına göre pek çok metotla cevher çıkartımı yapılabilir. Dolayısıyla daha fazla operasyonel kısıt ortaya çıkar (Bjørndal ve diğ., 2012).

Yeraltından maden çıkartım süreçleri, yer üstündeki diğer faaliyetlere göre derinlik, su miktarı, rutubet oranı, hava kirliliği belirlemeleri ile havalandırma sistemleri ve üst zemin analiz gereklilikleri gibi (Mahdevari ve diğ., 2014) pek çok karmaşık unsura sahiptir. Doğal kaynakların çıkartımı dünyanın pek çok yerinde uzun dönemli kabul edilemez sosyal ve çevresel etkiler bırakmıştır. "Çıkartım" madencilikte kaynak bulmak anlamındadır (Zuñiga ve diğ., 2015). Kaza risklerinin de ilişkili olarak daha

belirgin ve fazla olacağı düşünülerek, çalışma kapsamı Şekil 5.4.'te de görüldüğü gibi, yeraltı madenciliğinin maden çıkartım operasyonları olarak belirlenmiştir.



Şekil 5.4 : Çalışma kapsamı.

Çalışma uygulaması için, Eskişehir, Kayseri, Erzurum ve Balıkesir bölgelerinde yeraltı madenciliği faaliyetleri gösteren bir krom madeni işletmesi olan "Dedeman Madencilik" üst yetkilileri ile görüşülmüştür. Firma yetkilileri ile çalışanların zarar görmelerine sebep olan her türlü kazanın, iş güvenliği önlemlerinin yeterince sağlamadığından dolayı gerçekleştiğinin, madencilik sektörü tüm paydaşlarınca kabul edilmesi gereken bir olgu olduğu paylaşılmıştır. Her kazanın görünen ve görünmeyen pek çok olumsuz çıktısı olduğu ve tazminatlar, üretim durmaları, ekipman kayıplar gibi ekonomik zararların yanında, çalışan aileleri ve çalışanların psikolojileri, firma prestij kaybı gibi ciddi sosyal zararlara sebep olduğunun gözden kaçırılamaz olduğu tartışılmıştır.

Çalışmanın her aşamasında oluşan tüm çıktıların kendileri ile paylaşılacağı belirtilmiş ve günümüz ülkemiz madenciliğine ve tüm tehlikeli faaliyetler kapsamında çalışanlar için sektörel ve akademik bir fayda sunacağı ve destek olmaları halinde doktora tez çalışması niteliğinde bir çalışmanın ortaya çıkacağı belirtilmiştir. Firma üst yetkilileri ve Eskişehir ocak işletmesi yetkililerinin uygun görüşü ile çalışmanın, yeraltı madenciliği sektörünün kaza analizlerinin daha kapsamlı yapılabilmesini sağlayacak bir risk analizi çalışması olduğu kabul edilmiştir. Çalışmanın, firma çıkarlarına uyan ve aynı zamanda firmanın kurumsal sosyal sorumluluk konusunda bir faaliyeti olarak kabul edilebilecek bir çalışma olduğu görüşüne varılmıştır.

5.1.1 Analiz konusu ve kapsamının tanımlanması

Sektörle ilişkili kazaları tanımak ve sektörel çalışma dilini anlayabilmek için, firma yetkililerinden sahip oldukları kaza tutanak ve iş güvenliği ile ilişkili dosyalar

istenmiştir. Firmada 2007-2012 yılları arasında toplam 155 kazanın meydana geldiği ve kazaların çalışanların toplam 1951 gün iş görememelerine sebep olduğu görülmüştür (Çizelge 5.1). Temel hatlarıyla kazaların ekipmanla çalışırken yaralanma, çalışanın üzerine taş düşmesi, çalışanın düşmesi, sıkışması ve solunum hastalığına yakalanması oldukları gözlenmiş ve her bir kazanın, birbirinden çok farklı faaliyetler sırasında meydana geldiği anlaşılmıştır.

Çizelge 5.1 : Firma kaza listesi (iş görememe gün sayısı).

		Toplam Kaza Sayısı =155	Toplam rapor gün sayısı (1951)	Ekipman yaralanması 71 (641)	Taş düşmesi 44 (606)	Düşme 15 (245)	Sıkışma 23 (455)	Solunum hast. 2 (4)
Kaza Sayısı (Rapor gün sayısı)	0-3 gün rapor	27	(62)	16 (35)	5 (11)	3 (9)	1 (3)	2 (4)
	3-30 gün rapor	117	(1216)	55 (606)	36 (329)	9 (86)	17 (195)	0
	+30 gün rapor geçici iş göremez	11	(673)	0	3 (266)	3 (150)	5 (257)	0
	Kalıcı iş göremez - ölüm	0	(0)	0	0	0	0	0

Geçmiş kazalar tabloda her ne kadar 5 farklı kaza çeşidi ile sınıflandırılmış olsalar da kazanın meydana geldiği faaliyet unsuruna göre kazaların yeri ve şiddetleri büyük ölçüde değişkenlik göstermektedir. 155 tane kazadan, 0 günlük iş göremezlik raporuna karşılık gelen 2 tane ekipman yaralanması kazasının olduğu ve kalıcı iş göremezliğe sebep olan ya da ölüme sebep olan bir kazanın bulunmadığı görülmüştür.

Yetkililerle yapılan görüşmeler sonrasında, belirtilen bu kazaların yalnızca kayıt altına alınan kazalar olduğu, her mesai içerisinde çalışanların düşme, sıkışma, taş düşmesi vb. gibi kayıt altına alınmayan çeşitli istenmeyen olaylar yaşayabildiği de anlaşılmaktadır. Yeraltı maden ocaklarına ziyaretler düzenlenmiş ve çalışma koşulları ile iş kazaları arasındaki ilişki yerinde araştırılmıştır. Zeminin engebeli ve yer yer bol sulu yapısı, ortamın karanlığı, tünel duvarlarından her an düşme ihtimali bulunan taş parçaları, faaliyetler sebebiyle yer yer tozlu ve dumanlı alanlar, elle itilen içi maden dolu birkaç tonluk vagonlar gibi iş kazalarına elverişli pek çok riskli faaliyetlerin sürdürüldüğü görülmüştür. 155 kaza içerisinde yer alan 2 adet “0 iş göremezlik raporlu” kazanın sorgulanmasıyla da ilgili kazaların “çivi çakarken elini çizdirmek”

ve “eline taş düşmesi” olduğu ve birkaç saatlik istirahatle müdahale sonrası çalışanın mesaisine devam ettiği için 0 iş günü raporlu olarak kayıt altına alındığı öğrenilmiştir.

Kaza olarak kaydedilmesine rağmen herhangi bir raporlu iş gününe sebebiyet vermeyen iki adet kaza olmasına rağmen, aslında bunun gibi pek çok kazanın olduğunu tahmin etmek zor değildir. Bu tür kazaların pek çok yeraltı maden ocağı için kabul edilebilir olduğu ve bu tür kazaları, çalışanların mesai saatlerinde yaşanması normal olarak algılanan olaylar olarak kategorize edilebildiği görülmüştür.

Sınırlı sayıda da olsa geçmiş kazaların incelenmesi ve maden firması yetkilileri ile yapılan görüşmeler ile maden ocağı faaliyetlerinin gözlenmesi sonucunda, çalışma kapsamında yeraltı madenciliği faaliyetleri süresince meydana gelebilen ve mesleki güvenlik riski oluşturabilecek tüm olası olayların ele alınmasına karar verilmiştir. Yaşanan istenmeyen olaylar, sistem yöneticileri ya da kazazedeler tarafından çoğu zaman tolere edilse de kayıt altına alınıp-alınmamasından bağımsız olarak, işletmenin yeraltı faaliyetleri sebebiyle meydana geldiği için mesleki iş kazası olarak nitelendirilebilecek tüm olayların risk incelemesi altında ele alınması yerinde bir yaklaşım olacaktır. Çizelge 5.1’de de görüldüğü gibi, kalıcı iş göremezliğe ya da ölüme sebebiyet vermiş herhangi bir kaza meydana gelmiş olmasa da ramak kala ya da kıl payı adı verilen kazaların mevcudiyetleri de risk analizi altında büyük bir önemle ele alınması gerekmektedir. Dolayısıyla daha önce meydana gelmeseler bile ya da meydana gelmelerine rağmen herhangi bir şiddet çıktısına sebep olmadığı için rapor edilmeyen tüm kazalar, kapsamlı risk analizi ile sistemin risk değerlendirmesine dahil edilmesine karar verilmiştir.

Geçmiş kaza bilgilerinin, risk analizi için istatistiksel olarak anlamlı sonuçlara ulaşmayı mümkün kılmayacağı görülmüş ve çalışma kapsamında ele alınacak kazaların, bugüne kadar literatüre ya da basına konu olmuş olaylardan daha geniş kapsamlı olacağını, çalışanların zarar görmesine neden olabilecek her olayın, inceleme kapsamında ele alınmak istendiği yetkililerle paylaşılmıştır. Yeraltı madeni kazalarının kapsamlı risk incelemesinin hem sektörel açıdan hem de literatür açısından, yeraltı madeni çalışma koşulları ve pek çok farklı sebeple ilişkili pek çok olası kazalara dair farkındalık yaratması, madenciliğin çıkarları doğrultusundadır. Risk analizi aracılığıyla edinilen bilgiler ışığında, çalışanlara zarar verebilecek istenmeyen olaylara dair önleyici tedbirler sunulabilecek ve konu ile ilgili farklı madenlere ya da sektörlere uygulanabilecek bir çalışma altyapısı oluşturulabilecektir.

Sağlıklı bir çalışma planının oluşturulması ve üst yetkililerce çalışma için uygun uzmanların atanabilmesi için, çalışmanın konusu, kapsamı ve çalışmanın gerekliliği kapsamlı ve en anlaşılır şekilde firma yetkililerine sunulmuştur. Bu aşama, firma üst yetkililerince çalışmanın benimsenmesini ve firma iş güvenliği kültürü ile birleşerek, çalışmada görev alacak uzmanların çalışma için gerekli bilişsel hazırlıklarını sağlayabilmelerinde etkili olmuştur.

5.1.2 Analiz için uygun uzmanların belirlenmesi

Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi, geçmiş kazaların kapsamlı risk analizi yapılmasına imkân verecek çoklukta olmaması sebebiyle, uzman yargıları analizin temel veri yapıtaşları olacaktır. Dolayısıyla uzmanların seçimi, analiz için toplanan verilerin ve analiz sonuçlarının güvenilirliğini doğrudan etkileyecektir.

Clemen ve Winkler (1999)'in de önerdiği gibi yargısal çıkarımlar için maksimum efektiflik sunacağına inanılan, üç uzmandan oluşan bir grupla çalışmaya karar verilmiştir. Uzmanlar için çalışma kavramlarının, anlama ve fikir yürütme konusunda zorlayıcı olarak algılanabilme ihtimali vardır. Bu yüzden, tek uzmanla yargısal çıkarım yapmanın zorlu olacağını öngörmek kaçınılmazdır. Uzman sayısının iki olması halinde de fikir ayrılıklarının olduğu durumlarda, uzlaşık sonuca ulaşmanın zor olacağı düşünülebilir. Fazla sayıda uzmanla çalışmanın ise analist için, uzmanların bilişsel algılarını kontrol edebilme ve uzman grubunu bilişsel olarak yönlendirebilme konusunda zorluk yaratacağı öngörülür. Bu sebeple, literatürün de önerdiği gibi risk analizi için "üç uzman" ile çalışılmaya karar verilmiştir.

Yapılan görüşmeler sonrasında risk analizi için belirlenen uzmanlar aşağıdaki gibidir:

Uzman 1: İşletme Müdürü, jeoloji yüksek mühendisi, sektör için 16 yıllık, bağlı bulunduğu işletme için 12 yıllık deneyime sahiptir.

Uzman 2: Baş Mühendis, maden mühendisi, sektör için 10 yıllık, bağlı bulunduğu işletme için 8 yıllık deneyime sahiptir.

Uzman 3: Usta başı, maden işçisi, sektör için 35 yıllık, bağlı bulunduğu işletme için 18 yıllık deneyime sahiptir.

Analiz için belirlenen üç uzmanın da tehlike ve risk unsurlarına verdiği önem, işletme güvenlik kültürü ortalama seviyesinin üstündedir. Uzman olarak belirlenen çalışanların, alanlarında çalışma için gerekli verileri sunabilecek düzeyde yeterli

deneyime sahip olduklarından emin olunmuştur. Uzmanların kendi aralarında da özel yakınlık olduğu tespit edilmiş, birbirleri ile iletişimlerinin çekincesiz, şeffaf ve herhangi bir çıkar gütmeden sürdürüldüğü gözlenmiştir. Uzmanların, çalışmanın önemini kolayca anladıkları ve çalışmanın planlanması için hazır oldukları görülmüştür.

Çalışma kapsamında, analist kontrolünde fakat çoğunlukla kendi aralarında yapacakları fikir paylaşımları ile uzlaşık çıktılar sunmaları gerektiği kendilerine bildirilmiştir. Fikir birliğine varabilmeleri için, yargıları konusunda gerekli ölçüde esnek olup, interaktif tartışmaya da açık olmaları gerektiği kendilerine aktarılmıştır. Çalışma konusunun akademik bir uğraştan bağımsız olarak, çalışma hayatları için gerekli ve hayati öneme sahip, çalışma refahlarını arttıracak bir öneme sahip olduğunu düşündükleri ve analizin önemine saygı duydukları görülmüştür.

5.1.3 Uzmanların yeraltı madeni güvenliğine ilişkin risk analizi için motivasyonunun sağlanması

Risk analizine uygun sorgulamalar ve çıkarımlar yapabilmek için uzmanlara gerekli bilişsel ortamı hazırlamak gerekmektedir. Çalışma konusu, kapsamı ve önemi ile birlikte, incelenecek sistemle ilişkili risk analizi için gerekli tanımlayıcı bilgilerin, uzman grubuyla paylaşılması sağlanmalıdır (Shephard ve Kirkwood, 1994).

Uzmanların analiz için motivasyonunun sağlanması için konunun önemi ile ilişkili aşağıdaki ifade sunulmuştur:

"Yeraltı madenciliği dünyada en fazla ölümlü iş kazalarının yaşandığı sektördür. Maden çalışma şartlarının zorlu oluşu ve gelişmiş teknolojilerin pek çok maden firmasınca kullanılamıyor olması sebepli, faaliyetler emek-yoğun/manuel bir şekilde sürdürülmektedir. Zorlu şartlar ve emek yoğun faaliyetlerin bir arada olması, şiddeti değişkenlik içinde olan, fakat çok sıklıkla yaşanan pek çok iş kazasını beraberinde getirmektedir. Şartları gereği meydana gelmesinin kaçınılmaz olduğuna inanılan bu iş kazalarının yaşandığı faaliyetlerin, kapsamlı güvenlik risk incelemelerinin yapılması gerekmektedir".

Uzmanlara, yeraltı madenciliğinin öncelikle sektörel ihtiyacı olan kapsamlı risk analizlerinin gerekliliğinin belirtilmesinin ardından, çalıştıkları firmanın yeraltı faaliyetleri süreçlerinden sorumlu çalışanlarının mesleki güvenlik ile ilgili yaşayabilecekleri tüm olası riskli olayların kapsamlı olarak ele alınacağı belirtilmiştir.

Uzmanlara, çalışma konusunda aktarılan unsurlar aşağıdaki gibi sıralanmıştır:

- Çalışmada, yeraltı madenciliği kapsamında yürütülen faaliyetler boyunca ortaya çıkan, güvenlik riski içeren olayların inceleneceği
- Çalışanlara zarar verme ihtimali bulunan her türlü olayın ele alınmaya çalışılacağı
- Olayların neden meydana geldiğinin araştırılacağı
- Risk kavramının ölçülebilir bir unsur olmasını sağlamak için olayların olasılıklarının tespit edileceği
- Analiz kapsamında tüm aranan bilgiler için ana veri kaynağının çalışmanın uzmanları olarak kabul edilen kendileri oldukları
- Sorgulanan unsurlara dair yargılarını, aralarında tartışıp, uzlaşık bir yanıtla grubun çıktısı olarak sunmalarının beklendiği
- Sorgulanan unsurların herhangi bir doğru ya da yanlış cevabı olmadığı
- Yargılarını, tarafsız ve dürüst olarak, gözlemlerine ve birikimlerine dayanarak inandıkları şekilde aktarmalarının beklendiği
- Sorgulanan unsura dair uygun bir yargı çıkarımlayamadıkları zaman bunu ifade etmeleri gerektiği
- Yanıtlarındaki tutarlılıkların çapraz sorgularla kontrol edileceği
- Yanıtlarındaki yanlılık durumunu kontrol etmek için, neden öyle düşündüklerini ortaya çıkartmak adına ayrıntılı sorularla karşılaşabilecekleri
- Çalışmada istedikleri zaman, istedikleri noktaya geri dönebilecekleri, hatta istedikleri zaman çalışmadan çekilme haklarının olduğu
- Görüşlerinin tez çalışması için kullanılacağını ve literatür veri tabanına çeşitli yayınlarla aktarılacağı belirtilmiştir.

Uzmanlara, hatalı yargılamalar sunmamaları için, aşağıda belirtilen unsurların olması halinde, sorgulamalara dair güvenilir olmayan bilgiler sunabilecekleri belirtilmiştir.

- Uzmanların olay değerlendirmelerini, gerektiği şartlar altında değil, ilk aklına geldiği hali ile yapması,

- Uzmanların sorguları yanlış olaylarla ya da değerlerle karşılaştırma yaparak değerlendirmeleri ve
- Sorgulanan unsuru değerlendirirken, kendi çıkarlarını ya da etki altında kaldıkları güçleri analize dahil etmeleri.

Ağ kurulumuna geçilmeden önce uzmanlar, yeraltı madeni güvenliği ile ilişkili risk analizinin geç kalınmış bir ihtiyacı karşılamak üzere, elzem bir gereklilik içerdiğini ve çalışmanın bir parçası olmaktan mutluluk duyduklarını belirtmişlerdir.

5.2 Mesleki Güvenlik Risk Analizi İçin Ağın Oluşturulması

Analiz verilerini sağlayacak uzmanların seçiminin ve çalışma motivasyonlarının sağlandığından emin olduktan sonra, Bayes Ağları Analizi'nin temelini oluşturulacak uzman yargıları tabanlı ağ yapılandırılmasına geçilir. Risk analizi için kullanılacak ağı yapılandırırken uzman yargılarından yararlanılmasının sebebi, Laitila (2013)'nın da belirttiği gibi geçmiş verilerin Bayes ağı içindeki değişkenler arası ilişkileri tanımlayabilecek çoklukta olmamasıdır. Yeraltı madeni faaliyetleri boyunca çalışanların mesleki güvenliğini tehlikeye sokabilecek her unsuru nedenleriyle birlikte grafiksel olarak ortaya çıkaracak olan ağın yapılandırılması, seçilmiş üç uzmanla birlikte yapılacaktır. Langseth ve Portinale (2007)'nin de dediği gibi, çalışma boyunca modelin yapılandırılması için seçilmiş uzmanlara ilişkili sorular sorarak onlara rehberlik edilecek ve modeli oluşturan değişkenler ve ilişkilerinin tanımlanmasını sağlanacaktır.

Olaylar arasındaki nedensel bilgileri sezgisel olarak sunacak ağın oluşturulmasında, olay akışlarının ağa, gerçeğe uygun bir şekilde yansıtılması gereklidir. Dolayısıyla, olaylar hakkında doğru çıkarımların yapılmasında, Bayes ağlarının doğru yapılandırılması oldukça önemlidir. Ağın yapılandırılmasında gerekli değişkenler ve ilişkilerinin tanımlanması, analist tarafından uzmanlar aracılığıyla çıkarımlanacak olup (Langseth ve Portinale, 2007), ağ yapılandırmasının doğru ve gerçeği yansıtır bir şekilde oluşturulması ile de bilimsel temeller üzerine kurulu pek çok analiz ve çıkarım gerçekleştirilebilecektir (Madsen ve Kjærulff, 2013).

Çalışma kapsamında tüm yeraltı faaliyetleri süresince gerçekleşebilecek ve çalışanlara zarar verebilecek istenmeyen olayların ele alınması için, öncelikle yeraltı madeni faaliyetlerinin belirlenmesi gerekmektedir.

5.2.1 Çalışan güvenliği ile ilişkili istenmeyen olayların meydana geldiği alt süreçlerin belirlenmesi

Güvenlik riski açısından incelenecek olan bir sistem içindeki olası kazaların yakından incelenebilmesi için öncelikle sistemin alt süreçlerinin belirlenmesi gerekir. Madencilik faaliyetleri maden arama, değerlendirme, hazırlık, yeraltı ya da yeryüzü maden çıkarımı, cevher hazırlama ve zenginleştirme süreçlerini kapsar. Çalışma kapsamında yalnızca yeraltı üretim-maden çıkarımı aşaması ele alınmıştır. Bunun için yeraltı madeni maden çıkarım faaliyetleri aşağıdaki gibi operasyonel olarak aşamalara ayrılmıştır (Şekil 5.5):



Şekil 5.5 : Yeraltı krom madeni faaliyetlerinin süreçlere ayrılması.

Maden çıkartımı için temel üretim döngüsü içinde delme, patlatma, yükleme ve taşıma faaliyetleri ele alınır (Hartman ve Mutmansky, 2002). Ancak ele alınan yeraltı krom madeni rutin yeraltı faaliyetlerinin, işletme uzmanları ile yapılan görüşmeler ve maden işletmesinin yerinde incelenmesi sonrasında, ocak içi ekipman taşıma, delme, ateşleme (dinamit yerleştirme-patlatma), tahkimat sağlama, ayna faaliyeti, taşıma ve yükleme süreçleri ile kafes nakliyat olduğu görülmüştür. Bu faaliyetlerin öncesinde yer alan ve işletmenin rutini olmayan maden arama, değerlendirme ve hazırlık aşamaları ile maden çıkarım faaliyetlerinin sonrasında yer alan ve yeryüzünde devam ettirilen cevher hazırlama ve zenginleştirme faaliyetleri çalışma kapsamına dahil edilmemiştir. Süreçlerin, uzmanlar ve işletme yönergeleri aracılığıyla aşağıdaki gibi temel olarak tanımlamaları yapılmıştır:

Ocak içi ekipman taşıma: Kullanılan ekipmanların yeraltına taşınması çalışanlar tarafından gerçekleştirilmektedir. Yeraltı madeninde büyüklü küçüklü kullanılan envanterler jeneratör, kompresör, maden direği, kama, el arabası, matkap, dinamit, kapsül, fitil, başlık lambası, delme makinesi, şarj araçları, madenci kaskları ve diğer birçok malzeme sıralanabilir (Yaşlı ve Dönmezer, 2016). Çalışma kapsamında belirtilen "ocak içi ekipman taşıma" sürecinde, maden demirbaşları haricinde, madendeki ilerlemeye bağlı olarak gerekli olan teçhizat ve malzemelerin bölgeye taşınması ele alınmıştır. Bu malzemelerden krom madeni için en göze çarpanı, madenin güvenliği ve faaliyetlerin devamlılığı için kullanılan tahkimat malzemesi olan

maden direkleridir. Destek sistemlerinin oluşturulmasını sağlayan tahkimatlar gerekli yerlere kurulurken, gerekli görüldüğü takdirde sökülüp, başka noktalara taşınıp kurulur. Dolayısıyla, madende ilerleme yapabilmek için gerekli olan tahkimat maden direkleri çalışanların en fazla taşımak zorunda kaldığı malzemelerdir. Teçhizatlar içerisinde en dikkat çekeni ise, delicilerin taşınması olarak düşünülebilir. Taşınan malzemelerin büyüklüğü ve ağırlığı düşünüldüğünde, maden çalışma şartlarında oldukça tehlikeli bir süreç ortaya çıkardıklarını düşünmek mümkündür.

Delme: Madenciliğin ana unsuru olan, madenin bağlı bulunduğu kütleden ayrılabilmesini sağlayan patlayıcıların, arına (aynaya) yerleştirilmesi için kayacın delinmesi faaliyetidir. Delme makineleri, yeraltı madenciliğinde üretimin gerçekleştirilmesinde önemli rol oynar. Delme faaliyeti, ağırlığına göre sehpalı ya da özel ekipmanlarla birlikte kullanılan martoperfaratör denilen delici matkaplar ve çoklu delik delme işlemi yapabilen Jumbo adı verilen araçlarla gerçekleştirilir (Tatar ve Özfırat, 2003). Delme faaliyeti operatörünün iş sağlığı ve güvenliği açısından riskli bir faaliyettir. Delme operatörüne delikçi-lağımcı da denmektedir.

Ateşleme: Delme faaliyeti sonrasında yerleştirilen dinamitin patlatılma işlemine ateşleme ya da lağım patlatma denmektedir. Delme faaliyetinde de belirtildiği gibi, ateşleme-dinamit patlatma faaliyeti, madenin bulunduğu kayaçtan ayrılması için gerçekleştirilir. İşletmelerde dinamit patlatma ile ilgili yönergeler yayınlanmış olup, kurallara göre yapılmaması halinde çok ciddi sonuçları olabilecek kaza ve yaralanmalar ortaya çıkabilir. Ateşleyici adı verilen gerekli yeterlilik belgelerine sahip nitelikli çalışanlarca gerçekleştirilen ateşleme faaliyetlerinin her aşaması yönetmeliklerle tanımlanmaktadır (Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, 2013).

Tahkimat sağlama: Tahkimat bir madende faaliyetlerin devamlılığının sağlanmasındaki en temel güvenlik unsurudur. “Maden ocağını teşkil eden galeri, kuyu ve üretim yerlerini mal ve can emniyeti bakımından çalışılabilir duruma sokmak ve çalışılabilir durumda tutmak için yerine göre ağaç, demir ve beton kullanılarak yapılan takviye ve destek düzeni” olarak tanımlanır (Url-3). Şekil 5.6’da tahkimatı sağlanmış bir yeraltı galerisi görülmektedir. Galeri, maden ocaklarında açılan yeraltı yoludur (Url-4). Tahkimat sağlama, maden çıkarımı sürdürülebilirliğinin sağlanmasındaki temel faaliyetlerdendir ve yönetmeliklerde ayrıntılı tanımlamalara sahiptir (Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, 2013).



Şekil 5.6 : Tahkimatı sağlanmış bir yeraltı galerisi.

Ayna faaliyeti: Alın ya da arın faaliyeti ile lağım atma olarak da nitelendirilen ayna faaliyeti, patlatma sonrası gevşeyip dökülen malzemenin kaldırılması ve yüklenmesi faaliyetine verilen isimdir. Ayna, ocak içerisinde ilerlemenin yapıldığı bölgedir. Ayna faaliyeti süresince ayna işçisi tarafından dökülmüş malzeme kürekle el arabalarına ya da vagonlara doldurulur (Şekil 5.7) ya da ayna bölgesi yeraltı kepçesi olarak ifade edilen LHD (load-haul-dump) kazıyıcılar ile çalışmak için uygun bir yerdeyse malzemenin yeraltı kepçeleri ile vagonlara doldurulması sağlanır (Şekil 5.8). LHD'ler lastik tekerlekli araçlardır ve yerüstünde çok geniş bir uygulama alanı bulan yükleyicilerin kömür madeni dışındaki yeraltı madenlerinin şartlarına uydurulmuş şekilleridir. Madencilik sektöründe kullanımlarına 1960'lı yıllarda başlanmıştır (Tatar ve Özfırat, 2003). LHD araçları için düşük otomasyon ya da tam mekanize olarak ifade edilen kazma-taşıma-yükleme (doldur-taşı-boşalt) araçları da denmektedir ve araçların ekonomik kullanımı için cevheri aldığı ve boşalttığı nokta arası 100 metreyi geçmemelidir (Eskikaya ve Aydıner, 2003).



Şekil 5.7 : Ayna işçisinin gevşeyen malzemeyi kürekle kaldırması.



Şekil 5.8 : Yeraltı kepçesinin aynadan aldığı malzemeyi vagona dökmesi.

Nakliyat: Ayna bölgesinden kaldırılan malzemenin, madenin yeryüzüne ihracını yapacak olan kafese ve kafesin bulunduğu katlardaki aktarım yerleri olan oluklara nakledilmesi işlemidir. Malzemenin, oluklara (kesiti genellikle yarım daire veya yamuk şeklinde olan kıvrılmış saç) dökülmesiyle, yalnızca yerçekimi sayesinde malzemenin aşağı katlara taşınması sağlanır. Kafes ise yeraltındaki çalışma alanını yeryüzüne bağlayan maden kuyularındaki, çoğunlukla vinç sistemi ile hareket ettirilen kabindir. Yeryüzü, madenin varış noktası, kayacın patlatıldığı ve yüklendiği ayna bölgesi de madenin başlangıç noktası olarak tanımlanırsa, oluklar ve kafes noktaları da madenin yeryüzüne ihraç edilmesindeki aktarım noktaları olarak kabul edilebilir. Malzemelerin oluklara el arabasıyla ya da vagonlarla dökülmesi ve oluktan doldurulmuş malzemenin vagonla kafese taşınması işlemi madencilikte yeraltı nakliyatı faaliyetleri kapsamındadır. Şekil 5.9'da ülkemiz yeraltı madenciliğinin çok büyük bir sıklıkla kullandığı vagonla nakliye işlemi, Şekil 5.10'da ise Kolombiya'daki bir altın madeninde el arabası ile yapılan nakliye görülmektedir.



Şekil 5.9 : Yeraltı madeninde vagonla nakliye.

Yükleme: Çalışma kapsamında ele alınan yükleme faaliyeti, yeraltı madenindeki önemli nakliyat noktaları olan oluk ve kafes noktalarında yapılan yüklemelerdir. Ayna bölgesinden çıkartılan ve oluğa nakledilen malzemenin, oluk ağzında alınması "oluk

yükleme", malzemelerin yeryüzüne ihraç edilmesi için kafese kadar transferi yapılan malzemenin kafese yerleştirilmesi işlemine de "kafes yükleme" adı verilmiştir. Oluktan boşalan malzemenin yüklemesi vagonlara yapılırken, bu vagonlar daha sonra yeryüzüne ihraç edilmek üzere kafeslere yüklenir. Her biri tonlarca ağırlık kazanan vagonların yükleme aşamaları insan gücü gerektirmektedir.



Şekil 5.10 : Yeraltı madeninde el arabası ile nakliye, Sarmiento ve diğ (2013).

Kafesle nakliyat: Kafes, dikey maden kuyularında insan, malzeme ve vagon (araba) nakliyatını sağlamak için kullanılan tek veya daha fazla katlı çelik konstrüksiyonlu kabin olarak tanımlanır (Kuyularda Taşıma Yönergesi, 2016). Kafesle nakliyat, yeraltındaki malzemelerin yeryüzüne ihraç edilmesi işlemi olup, kafese konan içi malzeme dolu vagonların yeryüzüne çıkarılması ile gerçekleştirilir. Şekil 5.11'de vagonların yeryüzüne ihracını sağlayan kafesin, içinden ve dışından görüntüsü verilmiştir.



Şekil 5.11 : Yeraltı madeninde kafes.

Görüldüğü gibi, yeraltı madeni faaliyetleri uzmanlar aracılığıyla 8 ana başlık altında tanımlanmıştır. Bu tanımlamalar, faaliyetlerin akışına uygun olarak sıralanmıştır. Süreçler kapsamında meydana gelen kazaların belirtilen alt başlıklarla incelenmesinin süreci kolaylaştıracağı düşünülmüştür. Böylelikle hem analizi yapılacak kazaların ortaya çıkartılmasında, hem de analiz sonuçlarının yorumlanmasında sistematik bir yapı içerisinde bulunmaya gayret edilmiştir.

5.2.2 Yeraltı madeni süreçleri içinde, çalışan güvenliği ile ilişkili istenmeyen olayların tanımlanması

Çalışma kapsamında oluşturulan metodolojiye göre, işletmenin faaliyetlerini sürdürdüğü alt süreçlerin belirlenmesinden sonra, faaliyetler süresince meydana gelebilecek kazaların ortaya çıkarılır. Bir olay hem çalışanın yürüttüğü faaliyeti sürdürememesine hem de çalışanın zarar görmesine neden oluyor ise, o olayın çalışma kapsamında bir iş kazası olarak ele alınması gerekmektedir. Literatürden ve işletmenin bugüne kadar kullandığı kaza kavramından farklı olarak, şiddeti önemsiz olmak üzere çalışana zarar vermesine ve süresi önemsiz olmak üzere çalışanın sürdürdüğü faaliyetin durmasına neden olabilecek her türlü istenmeyen olayın kaza olarak ele alındığı uzmanlara belirtilmiştir.

Var olan geçmiş kaza kayıtları yeraltı madeni faaliyetleri süresince meydana gelen kaza tanımlamaları için büyük bir ölçekte olmasa bile bir örneklem sunmaktadır. Çizelge 5.1'de görüldüğü gibi, kayıtlara göre meydana gelmiş kazalar, ekipman yaralanması, düşme, taş düşmesi, sıkışma ve solunum hastalığı şeklinde sıralanmıştır. Bu kazalar her faaliyet altında farklı bir kapsamda meydana gelmiş ve farklı şiddetlerde sonuçlara neden olmuştur. Örneğin düşme kazası; kafesin düşmesi, yeraltı kepçesinin devrilmesi sonucu çalışanın düşmesi ya da ayna bölgesinde kürekle çalışan bir çalışanın düşmesi şeklinde çeşitlenmektedir. Bu yüzden kaza çeşitlerinin her süreç altında ayrı ayrı ortaya çıkarılması ve gerçekleşmesi muhtemel kazaların her süreç altında kapsamlı olarak tanımlanması gerekmektedir. Faaliyetler kapsamında ele alınan kazalar, ocakta daha önce meydana gelmiş kazaların incelenmesi, yerinde gözlemlerin yapılması ve uzmanlarla yapılan görüşmeler sonrasında aşağıdaki gibi ortaya çıkarılmıştır.

Ocak içi Ekipman Taşıma: Yeraltı madeninde faaliyetler için gerekli ekipmanlar çalışanlar tarafından taşınmaktadır. Bu ekipmanların bir kısmı ağır ve büyük hacimli

malzemelerdir. Bu malzemelerin taşınması esnasında, çalışanlar büyük zorluklar yaşayabilmektedirler. Özellikle maden direklerinin ihtiyaç duyulan noktalara iletilmesinde, zorlu bölgelerden geçilmektedir. Ocak içi ekipmanların taşınması sırasında, taşınan malzemelerin büyük ve ağır olmalarının da etkisiyle taşınan malzemenin çalışanın üzerine düşmesi ile 'ekipman yaralanması', çalışanın 'fiziksel olarak zorlanması', çalışanın dengesini kaybedip 'düşmesi', 'göçük' ya da 'kavlak düşmesi' olarak ifade edilen, duvarlardan ya da tavandan kayaç parçalarının malzeme taşırken çalışanın üstüne düşmesi gibi kazalar yaşanabilmektedir. Ayrıca patlatma faaliyetinde kullanılan patlayıcı madenlerin taşınması da bu faaliyet altında değerlendirilebilirken, bu ekipmanlar sebepli bir patlama olması, uzmanların daha önce hiç deneyimlemediği ve ayrıca ilgili kazayı olası beklemediklerinden dolayı çalışmaya dahil edilmemiştir.

Delme: Yeraltında maden çıkarmanın en temel faaliyetleri delme ve patlatma faaliyetleridir. Çalışma kapsamında ayrı ayrı ele alınan bu faaliyetlerden delme faaliyeti, mekanizasyon sistemi ile sürdürülür. Delme faaliyetinden sorumlu çalışan, taşınabilir delme makinesi ile patlayıcıların konulacağı deliği açar. Delici aletinin kontrolü kolay değildir ve bu sebepten dolayı çalışan, 'delici ekipmanı ile kendini yaralayabilir' ya da 'fiziksel olarak önemli düzeyde zorlanma' yaşayabilir. Delme süresince 'kavlak düşmesi' olarak ifade edilen, tavan ya da duvarlardan bir parçanın, dış etkenler sebepli dökülmesi sonucu da yaralanabilir. Ayrıca delme işlemi sırasında önemli miktarda toz salınımı olduğu için gerekli önlemlerin alınmaması halinde, 'toz hastalıkları (pnömokonyoz)'nın yaşanması da söz konusu olabilir. Delme faaliyeti, patlatma faaliyetinin öncül süreci olduğu için delme faaliyetinden sorumlu çalışan gaz sızıntısı -su baskını olayı ile göçük olaylarının risk etki alanı içindedir.

Ateşleme-dinamit patlatma: Delme faaliyeti ile ardışık olarak gerçekleştirilen ateşleme-dinamit patlatma ile ilgili yönergeler işletmelerde yayınlanmış olup, kurallarına göre yapılmaması halinde çok ciddi sonuçları olabilecek kaza ve yaralanmaların ortaya çıkmasına neden olur. Özellikle patlatılan bölgenin arkasında tehlikeli bir oluşumun olup olmadığına dair sondaj yapılmadan ilerlenmişse, patlatılan bölgenin arkasında herhangi bir gaz ya da su birikintisi varsa, patlatma sonrasında olası bir 'patlama ya da su baskını' felaketine ya da 'göçük' felaketine neden olunabilir. Yine patlatma mevzuatına uygun hareket edilmemesi halinde kontrol dışı bir patlama ile herhangi bir çalışanın, gerçekleştirilen 'patlamaya maruz kalma'sı ile de karşı

karşıya kalınabilir. Ayrıca ateşleme çalışanları, ateşleme yapılan bölgede resmi olarak kontrolleri ve faaliyetlerin yapılmasındaki sorumlu kişiler oldukları için özellikle patlama sonrasında yaptıkları kontroller sırasında patlama sırasında salınan toza maruz kalarak, 'akciğer toz hastalıkları'na yakalanma riskini de taşırlar.

Tahkimat: Yeraltında, çalışanların kullandığı ana yollarda ve çalışmalar kapsamında gerekli görülen her yerde, faaliyetleri sürdürülebilir kılmak ve iş güvenliği sağlamak için, maden içi yüzeylere sağlamlık takviyesi yapılır. Tahkimat sağlama da denilen bu olay, yeraltı madenlerinde göçük felaketlerini önlemede birincil öneme sahiptir. Tahkimat sistemleri, kömür madeni gibi hassas, yumuşak ve kırılgan yapıya sahip madenlerde çok daha fazla kullanılırken, krom madeni gibi yapısal olarak sert ve dayanıklı madenlerde tahkimat destek sistemlerine duyulan ihtiyaç nispeten daha azdır. Çalışılan maden, krom madeni gibi sert kayaçlardan oluşsa da tahkimat sağlanması gereken noktaları doğru belirlemek ve tahkimatları gerektiği kalitede sağlamak çok önemlidir. Oldukça sert ve özgül ağırlığı yüksek kayaçlar içerisinde bulunan krom madeninde sağlanan tahkimatlar için ağaç yapılardan yararlanılır. Ağaç tahkimatlarda, içinde bulunduğu kayacın baskısı sebepli zamanla bükülmeler ve çatlamalar olur. Bu yüzden tüm çalışanlar, mesaileri boyunca tüm tahkimatların kontrolünden sorumludurlar. Zamanla yetersiz kalan tahkimatların tespit edilmesi, onarılması ve gerekiyorsa yeniden oluşturulması gerekmektedir. Tahkimatın sağlanması, kaldırması ve taşıması oldukça zorlu olan maden direkleri denilen ağaç yapılarla ve kesici aletlerle yapıldığı için, çalışanların 'fiziksel zorlanma'larına, 'düşme'lerine ve 'ekipman yaralanmalar'ına, tahkimatı sağlanmaya çalışılan kütleden kopabilecek 'kavlak düşmeleri'ne, eğer kırıklı ve hassas kütle yapıları altında çalışılıyorsa 'göçük' tehlikelerine ve tahkimat sağlanırken ortaya çıkan toz sebepli toz hastalıklarına (pnömokonyoz) maruz kalmalarına neden olmaktadır.

Ayna-arın: Ateşleme ile gerçekleşen patlama, kayaç yapısının parçalanmasını sağlar. Gevşetilen malzemenin kaldırılması ile oluk ve kafeslere yüklenmek için nakliyeye hazırlanması anlamına gelen arın-ayna faaliyetleri, mekanizasyon ya da otomasyon sistemlerinden yararlanılmadığı takdirde, madenciliğin en zorlu faaliyetlerindendir. Patlatma sonrası dökülmüş malzeme, yeryüzüne ihraç edilebilmek için emek-yoğun olarak ifade edilen kürek kullanımı ile el arabalarına ve oradan da vagonlara yüklenir. Ya da mümkün olması halinde yerdeki malzeme yeraltı kepçeleri kullanılarak vagonlara yüklenir. Kürekleme olarak ifade edilen, kürek kullanımı ile dökülmüş

malzemenin el arabalarına ve el arabalarının da vagonlara yüklenmesi yorucu ve zorlayıcı bir faaliyet olduğundan, çalışanı için 'fiziksel zorlanma'lara ve 'düşme' kazalarına çok müsaittir. Henüz patlatılan bölgede gerçekleştirilen bir faaliyet olması, ortaya çıkan ve ortama yayılan toz yüzünden 'toz hastalıkları (pnömokonyoz)'na, 'kavlak düşmesine' ya da 'göçük' kazalarının gerçekleşmesini söz konusu kılabileceği için ayna işçileri oldukça büyük risk altında faaliyet göstermektedirler. Yeraltı kepçesi ile çalışılması halinde de engebeli zeminde operatörün kepçenin kontrolünü kaybetmesi halinde 'yeraltı kepçesinin devrilmesi' ya da orada bulunan 'bir işçiye çarpması' ile bölgenin patlatma sonrası duyarlılığı sebepli 'göçük kazaları' gibi iş kazalarının yaşanması söz konusu olabilmektedir.

Nakliyat: Patlatılan-gevşeyen malzemenin yerden toplanılarak yeryüzüne ihraç edilebilmesi için ocak içi malzeme taşımacılığı işlemi gerçekleştirilir. Ayna bölgesinde toplanan malzeme vagonlara yüklenir ve yeryüzüne ulaştırılmak için oluklardan kafes katlarına dökülür ya da doğrudan kafese iletilir. Bu işlemlere madenin yeraltı taşımacılığı işlemleri de denir. İçi malzeme dolu vagonlar tonlarca ağırlığa ulaşır. Raylar üzerinde hareket eden vagonlar, vagonu motor gücü ile çeken lokomotif yoksunluğunda, Şekil 5.9'da da görüldüğü gibi insan gücü ile itilir. Oldukça güç ve dikkat isteyen vagon itme faaliyetinde 'fiziksel zorlanma', 'düşme', 'kavlak düşmesi', 'göçük', 'başka bir çalışana çarpma' gibi pek çok istenmeyen olay yaşanabilmektedir. Özellikle vagonla yapılan nakliyatta, vagonun oluklara dökülmesi işlemi sırasında ortaya çıkan toz sebepli, 'toz hastalıkları (pnömokonyoz)'na meydan verilmektedir. Diğer yandan rayların zamanla aşınması sebepli, vagoncu vagonun raydan çıkmaması için sivriç adı verilen bir ucu sivri, bir ucu yassı olan demir ya da çelikten imal edilmiş çubuklar aracılığıyla vagonu kontrol etmeye çalışır. Bu aşamada 'vagoncunun sivriç ile kendini yaralayabilmesi', 'vagoncu üzerine malzeme düşmesi' ya da 'vagon ile duvarlar arasına sıkışması' gibi pek çok kaza yaşanabilmektedir.

Yükleme: Madenin yeryüzüne ulaştırılmasında, oluklar ve kafes katları gibi malzemelerin yüklendiği önemli birtakım noktalar vardır. Madenin, bulunduğu kattan kafesin bulunduğu katlara ulaştırılması oluklar aracılığıyla yapılır. Oluklardan dökülen malzeme oluk ağızlarında tekrar vagonlara yüklenir. Oluk yüklemeden sorumlu çalışan, yerçekimi kuvveti aracılığıyla üst katlardan gelen malzemeyi, vagona yükler. Vagon dolduktan sonra da oluktan malzeme akışını durdurur. Bu faaliyetleri sürdürürken, 'üzerine oluktan malzeme düşmesi', 'ekipman yaralanması', 'fiziksel

zorlanma', 'sıkışma', 'düşme' ve 'göçük' tehlikeleri ile karşı karşıyadır. Ayrıca oluktan dökülen malzeme ciddi miktarda toz ortaya çıkmasına neden olduğundan, 'toz hastalıkları (pnömokonyoz)'na da önemli düzeyde mahal verilmiş olmaktadır. Diğer yandan kafes ağızlarına nakliyesi yapılmış dolu vagonların, çalışma kapsamında kafes yükleme olarak ifade edilen kafeslerin içine yerleştirilmesi sağlanır. Bunun yanında eğer yerden kaldırılan malzeme kafes katında ise, vagona yüklenir ve oluk yükleme işlemi olmadan doğrudan kafese taşınır. Çalışan, birkaç ton ağırlığındaki vagonu raylar üzerinden iterek yaptığı bu yüklemeyi dikkatli bir şekilde gerçekleştirmelidir. Çünkü kafese oturtmaya çalıştığı vagonun ağırlığı sebepli, 'fiziksel zorlanma', 'düşme', 'üzerine vagondan malzeme düşmesi', vagonu yerleştirme sırasında kullanılan sivriç sebepli 'ekipman yaralanması' ya da vagon sebepli 'sıkışma' da yaşayabilir. Ayrıca kafes yükleme talimatlarına uymaması halinde, 'vagonun kuyudan aşağıya düşmesi' gibi ölümcül sonuçlara sebep olabilecek bir olay da yaşanabilir.

Kafes Nakliyat: Çalışma kapsamında yeraltı madeni içerisindeki son işlem olarak, madenin yeryüzüne ihraç edilmesini sağlayan kafesle nakliyat faaliyeti tanımlanmıştır. Kafese yüklenen içi malzeme dolu vagonlar onlarca-yüzlerce metre boyunca vinç sistemleri yardımıyla yeraltından yeryüzüne taşınır. Çoğu krom madeninde kafesle taşıma işleminin mekanizasyon sistemi ile yönetilir. Kafesin hareketi sırasında 'kafes düşmesi' ya da 'kafesin tavana çarpması' gibi çok ciddi sonuçları olan olaylarla karşılaşılabilir. Bu tür iş kazalarının yaşanmaması için, koruyucu önlemlerin kritikliğinin çalışanlarca anlaşılması ve mekanik sistemlerin bakım yönetimlerinin dikkatle yapılması gerekmektedir. Bunların dışında kafes boşluğunu çevreleyen birbirine geçme ahşaplardan inşa edilmiş kuyu kasalarında, kayık kırılması adı verilen ahşapların bağlantı yerlerinden çıkması gibi olaylar da yaşanabilmektedir. Fakat bu tür kazalar, yalnızca kafesin nakliye sırasında durmasına sebep olup, üretimi durduran ve çalışanlara zarar verme ihtimali bulunmayan olaylardan kabul edildiği için, çalışma kapsamına dahil edilmemiştir.

Buna göre çalışma kapsamında ele alınan faaliyetler, meydana gelmiş ya da yaşanmasa da yaşanma ihtimali olan, "ekipman yaralanması, kavlak düşmesi, fiziksel zorlanma, düşme, akciğer-toz rahatsızlıkları (pnömokonyoz), göçük, patlatmaya maruz kalma, gaz-su patlaması, yeraltı kepçesi devrilmesi, çalışanın üzerine malzeme düşmesi, çalışanın sıkışması, çalışana çarpma, vagonun kuyudan düşmesi, kafes düşmesi ve kafesin tavan çarpması" olarak belirlenmiştir. Faaliyetler kapsamındaki kaza

sorgulamaları sonucu tanımlanan olayların, yeraltı krom madenindeki 'olası iş kazaları' yerine, 'istenmeyen olaylar' olarak tanımlanmasının daha uygun olacağına karar verilmiştir. Yeraltı krom madeni faaliyetleri kapsamında gerçekleşen istenmeyen olaylar, geçmiş kazalara dair yapılan incelemeler, uzmanlarla yapılan görüşmeler ve yerinde yapılan gözlemler sonucunda tanımlanmıştır. Fakat uzmanların faaliyetlere dair yalnızca dikkat çeken istenmeyen olayları sundukları fark edilmiştir. Bu sebeple, faaliyet kapsamında yakından veya uzaktan faaliyet çalışanının maruz kalabileceği tüm istenmeyen olaylar tekrar sorgulanmıştır ve Çizelge 5.2'deki matrise ulaşılmıştır.

Çizelge 5.2 : Çalışma kapsamında belirlenen yeraltı madeni istenmeyen olayları.

	Akciğer rahatsızlığı	Patlamadan etkilenme	Ekipman Yaralanması	Gaz sızıntısı-Su baskını	Kavlak Düşmesi	Fiziksel Zorlanma	Düşme	Göçük	Yeraltı Kepçesi Devrilmesi	Aracın Çalışana Çarpması	Çalışanın üzerine malzeme düşmesi	Vagon Sebepli sıkışma	Kafes boşluğuna düşme	Kafes Düşmesi	Kafesin tavana çarpması
Ocak içi Ekipman	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓			✓
Delme	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓							
Ateşleme	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓							
Tahkimat	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
Ayna-kürek kull.	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓					
Ayna-kepçe kull.	✓	✓		✓				✓	✓						
Nakliyat (el-vagon)	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Nakliyat-kepçe	✓	✓		✓				✓	✓						
Yükleme-Oluk	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓			
Yükleme-kafes	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓	✓	✓
Kafes nakliyat	✓														✓

'Yeraltı krom madenciliği' olarak ifade ettiğimiz sisteme dair, inceleme kolaylığı sunması için alt süreçlerin belirlenmesi ve bu süreçler dahilindeki 15 kazanın tanımlanmasının ardından, bu olaylara dair sorgulamalar yapılabilecektir. Bayes Ağları Analizi kapsamında bu sorgulamalar, üst olay nedensel sorgulamalarıdır. Çalışma kapsamında tüm üst olayların tek bir ağ içerisinde ele alınmasına karar verilmiştir ve ilgili ağın yapılandırması için, olayları meydana getiren etkenlerin nedensel haritaları oluşturulmuştur. Dolayısıyla 'üst olay belirleme aşaması'nın, Bayes Ağları Analizi'nin nitel sorgulamalar için başlangıç noktası olduğu kabul edilebilir.

5.2.3 İstenmeyen olayların nedensel sorgulanması ve olay hata ağaçları

Olayların meydana gelişlerine yönelik kapsamlı incelemeler yapabilmek için, olaylara neden olan etkenlerin belirlenmesi ve bu etkenlerin nedensel-nitel ilişkilerini ortaya çıkarmak gerekir. Ağ içinde birden fazla üst olay yer aldığı için olay nedenselliklerinin, Hata Ağacı Analizi'nin nitel sorgulama yaklaşımından yararlanarak çözümlenmesine karar verilmiştir. Böylelikle, hata ağaçları ile her üst olay öncelikle, kendi içinde ele alınacaktır. Detaylı olay haritalamalarının yapılması ile istenmeyen olayların meydana gelmelerine neden olan olay birleşimlerinin ortaya çıkarılması sağlanacaktır.

Olayların nedensel olarak bağlı olduğu diğer olaylar, konunun uzmanları ile gerçekleştirilen diyaloglarla tanımlanır ve nedensellikleri ortaya çıkarılır. Çözümlenen ilişkiler, hata ağacına kolaylıkla yansıtılır.

Nedensel çözümleme için uzmanlara aşağıdaki gibi sorular sorulur:

- Bu olay neden olur?
- Bu olaya hangi olay, nasıl sebep olur?
- Bu olaylar olmasaydı, olay gerçekleşmez miydi?
- Bu olay nasıl engellenir?

Bu çalışmada uzmanlardan beklenen, soruları kendi bilgi ve deneyimlerine göre yanıtlamalarıdır. Sorulara verilen cevapların, çalıştıkları işletmeyi temsil etmesi asla beklenmez. Uzmanların, deneyimledikleri tüm işletmeler ve tanık oldukları anlatılara göre, diğer bir deyişle gözledikleri yeraltı madenciliği işleyiş ve kültürüne göre yanıtlamaları beklenir.

Böylelikle Bayes Ağları Analizi'nin nitel aşaması kapsamında üst olay olarak tanımlanmış, çalışanlara zarar verebilme ihtimali bulunan istenmeyen olayların, meydana gelmesinde etkili yapıtaşların belirlenmesi sağlanacaktır.

Bayes ağının temel kurulumu için de öncelikle Hata Ağacı Analizi grafiksel yaklaşımından yararlanılacaktır. İşletme faaliyetleri sebepli, çalışanlara zarar verebilecek tüm istenmeyen olayların, uzmanlarla nedensel olarak sorgulanması ve sorgulamaların hata ağaçlarına yansıtılmasına dair çıkarım süreçleri aşağıdaki taslakta ifade edildiği gibi sunulmuştur:

‘İstenmeyen Olay’ Nedensel Sorgulaması:

Olayın tanımı ve önemi anlatılır.

- Olayın nedenini öğrenmeye yönelik sorgulama sorusu sunulur.

İstenmeyen olayın nedenine dair, ilgili yönetmelikler ve işletme yönergelerinde sıralanan unsurlar uzmanlarla birlikte gözden geçirilir. Uzmanlar, bilgi ve deneyimlerine göre nedensel sorgulamayı bir arada sesli yaparlar. Uzmanlardan alınan cevaplar ve bu cevaplara dair yapılan araştırmalar sonrasında edinilen bilgiler ve yapılan çıkarımlar, bu bölümde yukarıdaki soruya verilen yanıt şeklinde ifade edilir. Nedensel sorgulama sorusuna yönelik cevap ifadeleri altı çizilerek belirtilir.

Sonuç: Sorgulanan olay ve verilen cevaba göre, neden sonuç ilişkisi tespit edilir.

5.2.3.1 ‘Akciğer-toz hastalıkları (pnömokonyoz)’ nedensel sorgulama

Yeraltı madenleri çalışma koşullarının olumsuz olmasının temel nedenlerinden biri neredeyse tüm faaliyetler sonucu ortaya çıkan tozdur. Bir maden işletmesindeki havadaki tozun büyük bir çoğunluğu genellikle, patlatma işlemleri ve mekanik madencilik işlemleri ile açığa çıkar. Havadaki tozu üreten mekanik işlemler arasında delme, kesme, kırma, öğütme, kazma, devrilme, yükleme ve boşaltma bulunur (Stanton ve diğ., 2006; Tatar ve Özfırat, 2003). Kimi zaman zehirli de olabilen bu tozlar krom madenleri için zehirli olarak tanımlanmaz. Yeraltı madenindeki aniden gelişen istenmeyen olaylardan farklı olarak, çalışanlar, akciğer hastalıklarına adım adım yakalanırlar. Maden çalışanlarının akciğerlerinde zamanla biriken toz, çeşitli hastalıklara neden olmaktadır.

- Meslek hastalığı olarak tanımlanan toz hastalıkları, hangi faaliyetleri sürdüren çalışanlarda görülür ve çalışanlar hangi nedenlerden dolayı toz hastalıklarına yakalanır?

Yeraltı madenlerinde çalışanların neredeyse tümü, bu hastalığa yakalanma riskini taşırlar. Çalışanlar delme, ateşleme-patlatma, tahkimat, ayna, nakliyat ve yükleme faaliyetleri sırasında çok fazla toza maruz kalırlar. Çünkü bu faaliyetler sırasında ciddi miktarda toz salınır. Çalışanların bu tozdan etkilenmemeleri konusunda, faaliyete bağlı olarak emici sistem de denen toz bastırıcı sistemler ve çalışanın kullanacağı solunum koruyucu maske kullanımı önleyici unsurlar olarak sıralanabilir. KKD, ilgili yönetmelikte çalışanı, yürütülen işten kaynaklanan, sağlık ve güvenliği etkileyen bir

veya birden fazla riske karşı koruyan, çalışan tarafından giyilen, takılan veya tutulan, bu amaca uygun olarak tasarımı yapılmış tüm alet, araç, gereç ve cihazlar olarak tanımlanır (Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik, 2013). Toz bastırıcı sistem olarak su kullanımı yapılıyorsa, toz yayıldıktan sonra tozun çökmesi sağlanır, toz emici sistem kullanımı söz konusu ise toz salınımı önlenir. Solunum koruyucu donanım da çalışan tarafından tozun doğrudan solunmasına engel olur. Eğer belirtilen önlemlerle çalışan sağlığı korunmaya çalışılmazsa, çalışanların akciğerlerinde zamanla toz birikimi olacağı şüphesizdir. Biriken bu tozlar da astım ve kanser gibi sonuçları olan akciğer-toz hastalıklarına meydan vermektedir.

Sonuç: Toz hastalıklarının meydana gelmesindeki önemli etken, 'toz bastırıcı- emici sistem'in kullanımı ve 'KKD kullanımı'dır.

- Faaliyetler sırasında toz oluşumu söz konusu ise, ortaya çıkan tozu bastırmaya ya da ortadan kaldırmaya yarayan bir sistemin kullanımını etkileyen unsurlar nelerdir?

Öncelikle, böyle bir sistemin kullanımı için yönetimin ilgili faaliyet için bu sistemi sağlamış olması gerekir. Her işletmenin iş sağlığı ve güvenliği (İSG) konusundaki tutumunun farklı olması sebebiyle, toz bastırıcı sistemin işletme tarafından sağlanmamasının nedeni, işletmenin güvenlik kültürü ile ilişkili İSG planlama stratejisi olarak belirtilebilir.

Sonuç: Toz bastırıcı-emici sistem kullanımı, 'İSG Planlama' stratejisine bağlıdır.

- Sistemin işletmede var olduğu düşünülürse, yine de faaliyet sırasında bu sistemin kullanılmaması söz konusu olabilir mi?

Eğer yönetim, çalışanlarının daha az zarar görmesi için, ilgili sistemi sağlamışsa, bu durumda sistemin kullanımının sağlanması konusu çalışanın konuyla ilgili İSG bilincine bağlıdır. Çalışanın, faaliyetler sebebiyle ortaya çıkan tozun akciğerlerine zarar vereceğini bilmesi halinde, bu talimata aykırı davranması ya da diğer bir deyişle, ilgili gerekliliği ciddiye almaması mümkün görülmemektedir. Sistemin kullanımına dair talimatlara uymaması, çalışanın İSG kurallarına göre davranmama kararı almasındandır. Bu davranışın nedeni çalışana verilen eğitimin yetersizliği ya da eğitim yeterli düzeyde verilmiş olsa bile, çalışanın İSG ile ilişkili sunulan zorunluluk ve

gereklilik unsurlarının gerekçelerini tam olarak kavrayamamasıdır. Dolayısıyla bu ihmal, anlık bir hata değil, çalışanın İSG ile ilgili bilgisizliğine dayandırılır.

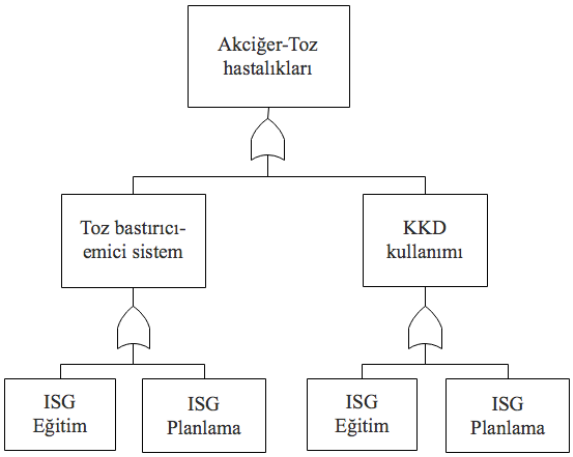
Sonuç: Toz bastırıcı-emici sistemin kullanılmaması, hem sistemin teminini sağlayan 'İSG Planlama' ile ilgili bir eksiklik olması halinde ya da çalışanın 'İSG Eğitimi' konusundaki yetersizliği sebebiyle gerçekleşen bir durumdur.

- Çalışanı akciğer rahatsızlıklarından koruyacak ikinci bir önlem olarak belirtilen KKD malzemesinin kullanımını belirleyen etkenler nelerdir?

KKD olarak belirtilen malzeme maske olup, bu donanımın kullanımı da toz bastırıcı sistemin kullanımı ile aynı unsurlara sahiptir. Çalışanın bu malzemeyi kullanımı, yönetimin gerekli donanımı sağlaması ve kişinin malzemeyi kullanma gereklilikleri ve zorunlulukları konusunda aldığı eğitime bağlıdır.

Sonuç: KKD kullanımı, yönetimin sağladığı 'İSG planlama' ve çalışanın 'İSG Eğitimi' konusundaki birikimine bağlıdır. Nedenlerden herhangi birinin olumsuz durumda olması, çalışanın KKD kullanımını olumsuz yönde etkilemektedir.

Akciğer – toz hastalıkları oluşumunu gösterir hata ağacı Şekil 5.12'deki gibi oluşturulabilir.



Şekil 5.12 : Akciğer- toz hastalıkları üst olayı hata ağacı gösterimi.

5.2.3.2 'Ekipman yaralanması' nedensel sorgulama

Ekipman yaralanması geçmiş kaza verilerine göre yeraltı madenciliğinin en sık yaşanan kazası olarak görülmektedir. Ocak içi ekipman taşıma, delme, tahkimat sağlama, ayna faaliyeti, vagon itme ile oluk ve kafes yükleme süreçlerinin hepsinde gözlenen ve sıklıkla beklenen bir kaza olarak belirtilmiştir.

- Çalışanların faaliyetleri süresince ekipmanla yaralanmalarının sebebi nedir?

Yeraltı madenciliği faaliyetleri çoğunlukla manuel, diğer bir deyişle emek yoğun sürdürülür. Çalışanların kullandıkları ekipmanların kontrolü, tamamen çalışanın kendisinde olduğu için zorlu çalışma şartlarında, çalışanların kendilerini yaralaması kaçınılmaz olabilir. Zorlu maden şartlarına dair temel unsurun da maden çalışma zemini olduğu söylenebilir. Faaliyet gösterdikleri bölge zemininin engebe, çamur vs. gibi olumsuz koşullara sahip olması durumunda, çalışanlar dengelerini sağlamakta zorlanıp, kullandığı ekipmanla kendilerini yaralamaktadırlar.

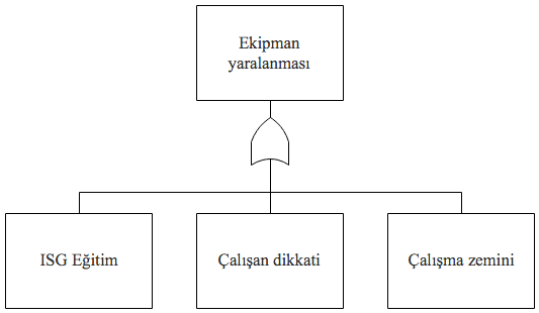
Sonuç: 'Ekipman yaralanmasının nedenlerinden birinin 'maden çalışma zemini' olduğu anlaşılmaktadır.

- Çalışma zemini ile ilgili olumsuz bir durumun olmadığı hallerde, çalışanlar ekipman sebebiyle yaralanma yaşarlar?

Çalışanların herhangi bir yaralanma yaşamamaları için ekipmanların güvenli kullanımlarına dair İSG eğitimleri verilmektedir. Çalışan, eğer ekipmanın kendi güvenliği için nasıl kullanılması gerektiğini bilip, süreçleri uygun bir şekilde yerine getiriyorsa ve her türlü olumsuzluk için yeterince dikkatli ise çalışanın herhangi bir yaralanma yaşaması beklenmez. Maden zemin şartları ne olursa olsun, çalışanın gerekli eğitimlere hâkim olması halinde, ancak ve ancak anlık dikkatini kaybetmemesi durumunda kendini ekipmanla yaralanmaktan koruyabilecektir. Aksi takdirde, eğitim ve çalışma zemin koşulları ne kadar olumlu yönde olursa olsun, anlık dikkatini kaybetmesi halinde çalışanın kendini ekipmanla yaralama ihtimali her zaman vardır.

Sonuç: Ekipman yaralanmasının nedenleri, çalışanın ekipmanı ile ilgili sahip olduğu 'İSG eğitimi', 'çalışan dikkati' ve 'maden çalışma zemini'dir.

Ekipman yaralanması kazasının grafiksel gösterimini, hata ağacı yaklaşımına uygun olarak Şekil 5.13'te görüldüğü gibi ifade etmek mümkündür.



Şekil 5.13 : 'Ekipman yaralanması' üst olayı hata ağacı gösterimi.

5.2.3.3 ‘Kavlak düşmesi’ nedensel sorgulama

Kavlak düşmesi, yeraltı madenciliği çalışma şartlarının doğası gereği en fazla beklenen olayı olup, önlenmesi için tüm çalışanlarca ilgili kontrollerin en fazla yapıldığı istenmeyen olaylarındandır.

- Kavlak düşmesi nasıl açıklanır?

Kavlak düşmesi olayı, ekipman yaralanması gibi, çalışanların pek çok faaliyet süresince maruz kalabildiği bir olaydır. Ana kütleden ayrılmış, dış etkenlerden dolayı her an düşebilecek parçalara kavlak denir. Bu parçaların, tavandan ya da yan duvarlardan kopup düşmesine de kavlak düşmesi denir. Sağlanan tahkimatlar, madencilerin çalıştığı bölgelerde büyük parçalara destek olurken, küçük parçaları desteklemeyebilir. Ya da zamanla kayaçta sökülmeler ve kopmalar olabilir. Yeraltı madenlerinin faaliyet gösterdikleri kayaç bölgesinin yapısına göre kavlak düşme olaylarının sıklığı değişebilir. Kayacın sert-sağlam olması hem kavlak düşmesi hem de çatı çökmesi gibi kazaları doğrudan çok düşük ihtimale taşırken, kayacın faylı-kırıklı yapıda olması hem kavlak düşmesini hem de çatı çökmesi ihtimalini yükseltir.

Sonuç: ‘Jeolojik yapı’, kavlak düşmesinin bir nedenidir.

- Kayaçların yapısı kontrol edilebilir mi?

Kayaç yapısı madenin yer aldığı bölgenin jeolojik yapısına bağlıdır. Örneğin krom madenleri kömür madenlerine göre çok daha sert ve dayanıklı kayaçlar içinde bulunur. Fakat maden içerisinde çalışılan lokasyon değiştikçe kayaç yapıları da değişebilir. Maden cevherinin bulunduğu alanlar çoğunlukla fay takibiyle belirlendiği için, faylı-kırıklı jeolojik yapı içerisinde çalışıldığı kesindir.

Sonuç: Kayaç sağlamlığını belirleyen jeolojik yapıya müdahale edilemez ve daha fazla neden sorgulaması yapılamayacağı için, ‘jeolojik yapı’ bir kök neden olarak belirlenir.

- Kavlak düşmesini önlemenin yolu nedir?

Öncelikle yerinde ve yeterli düzeyde sağlanan tahkimatlar, kavlak düşmeleri için alınan ilk önlemlerdir. Fakat tahkimatların etkinliğinden emin olmak gerekir. Bununla birlikte tahkimatlara rağmen, zamanla jeolojik yapıya bağlı olarak oluşabilecek kavlakların, düşmeye hazır olup olmadıkları kontrol edilip, kavlak düşürme olarak ifade edilen, parçanın kontrollü bir şekilde düşürülmesi gerekir. Her çalışan, maden içinde, bulunduğu her yerde kavlak kontrolünden sürekli olarak sorumludur. Düşmesi

muhtemel olan parçalar kendini görsel ya da işitsel belli eder. Yeterli kavlak kontrolü sağlanırsa kavlak düşmesi kazaları minimum indirilir.

Sonuç: 'Tahkimatın etkinliği' ve 'kavlak düşürme', kavlak düşmesi olayının jeolojik yapıdan sonraki diğer nedenleridir.

- Tahkimatın etkinliğini belirleyen unsurlar nelerdir?

Madenin içinde bulunduğu jeolojik yapının tahkimatlara doğal olarak baskı yapması, tahkimatların maden içindeki kayaçların yıkılmasına ve dökülmesine destek olmadaki etkinliğini azaltabilir. Bunun için tahkimat yapılarının kontrollerinin yapılması gerekir. Eğer kontrol sağlanıp, tahkimatın bir şekilde yıprandığı ve yetersiz kaldığı fark edilirse, tahkimatın etkinliğinin yeniden sağlanmasına yönelik işlemler yapılacaktır.

Sonuç: Tahkimatın etkinliğini belirleyen unsurlar, 'jeolojik yapı' ve 'tahkimatın kontrolü'dür.

- Tahkimatın kontrolünün yeterli düzeyde yapılması neye bağlıdır?

Çalışanlar tarafından yapılan tahkimat kontrolleri, öncelikle çalışanın tahkimatın etkinliğini belirleyebilme bilgisine ve yetkililerin yaptıkları denetimlere bağlıdır.

Sonuç: Tahkimat kontrolünü belirleyen unsurlar, çalışanın sahip olduğu bilgi seviyesini belirleyen 'İSG eğitimi' ve yetkililer tarafından yapılan 'İSG denetimi'dir.

- Kavlak düşürme faaliyetinin yeterli düzeyde yapılmasında önemli unsurlar nelerdir?

Kavlak düşürme faaliyeti, yeraltı madeni duvar ve tavanlarındaki kayaç parçalarının düşme ihtimallerinin olup olmadığının kontrolünü yapıp, düşmeye hazır olanlarının kontrollü bir şekilde düşürülmesinin sağlanmasıdır. Dolayısıyla kavlak kontrolleri kavlak düşürme faaliyetinin yeterliliğini belirleyen önemli bir değişkendir. Fakat kavlak düşürme işlemi ne kadar iyi bir şekilde yapılmış olsa da eğer çalışılan bölgedeki kayaç, kırıklı bir jeolojik yapıya sahipse, ne olursa olsun kavlak düşürme faaliyeti yetersiz kalabilecek ve kavlak kontrolünün yeterli yapılması zorlukla sağlanabilecektir. Dolayısıyla kavlak kontrolü ile birlikte jeolojik yapı kavlak düşürme faaliyeti etkinliğinin belirleyici değişkenidir. Bölgenin jeolojik olarak hassaslığı söz konusu ise, kavlak düşürme faaliyeti çok çabuk yetersiz konuma düşebilecektir. Diğer bir deyişle, kavlak kontrolü yeterli düzeyde yapılsa bile, kavlak düşmeleri yine de

yaşanabilir. Bu yüzden gerekli kontrolleri yaparak, kavlak düşürme faaliyetinin yeterli düzeyde gerçekleştirilmesi, güvenli madencilik için tüm çalışanları ilgilendiren en temel faaliyetlerdendir.

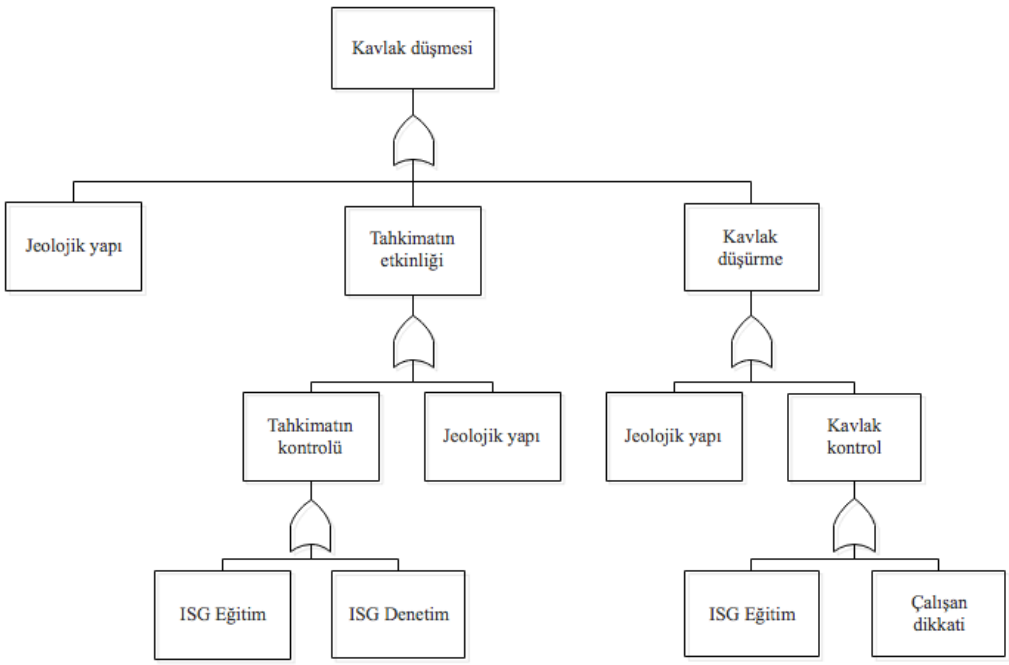
Sonuç: Kavlak düşmesi faaliyetinin etkinliğini belirleyen unsurlar, 'kavlak kontrol' ve 'jeolojik yapı'dır.

- Kavlak kontrol faaliyetinin yeterli düzeyde yapılmasının belirleyicileri nelerdir?

Kavlak kontrolünün, yeterli düzeyde yapılabilmesi, öncelikle düşmesi muhtemel parçaları tespit edebilmeye bağlıdır. Bunu yapabilmek için çalışanlar yeterli İSG eğitimine ve deneyimine sahip olup, kavlak düşürme faaliyetini dikkatle yapmalıdır. Çalışan, kavlağı tanıma ve kontrollü bir şekilde düşürme konusunda deneyimli olsa bile, çok sıklıkla yapılan bir faaliyet olduğu için dikkatinin/anlık farkındalığının azalması sebepli, kavlak kontrolünü yeterince yapamayabilir. Bu sebepten, çalışanın faaliyetini büyük bir dikkatle yerine getirmesi çok önemlidir.

Sonuç: Kavlak kontrolünün etkinliğini belirleyen unsurlar, çalışanın sahip olduğu 'İSG eğitim' ve 'çalışan dikkati' dir.

Kavlak düşmesinin meydana gelmesini gösterir hata ağacı, Şekil 5.14'te gösterildiği gibi oluşturulur.



Şekil 5.14 : Kavlak düşmesi üst olayı hata ağacı gösterimi.

5.2.3.4 ‘Fiziksel zorlanma’ nedensel sorgulama

‘Fiziksel zorlanma’ yeraltı madenlerinde çok sıklıkla yaşanmasına rağmen, ancak, belirgin bir iş görememeye sebep olması halinde kayıtlara geçen olaylardan biridir.

Vücudun bölümleri üzerindeki kuvvetler anında veya zaman içinde vücut bölümünün dayanabileceğinden daha büyük olduğunda yaralanmalar meydana gelir. Manuel görevler nedeniyle hasar riski taşıyan dokular arasında kemikler, kaslar, tendonlar, bağlar, eklem kıkırdağı, sinirler ve kan damarları bulunur (Horberry ve diğ., 2016).

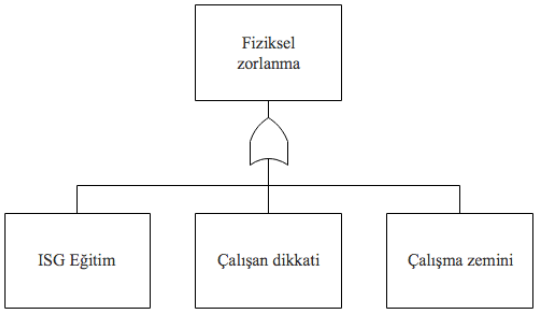
Yeraltı madeni çalışanlarının sıklıkla yaşamalarına rağmen, zorlukla kaza olarak kabul edilen olaylarındandır. Gerçekleşmesi halinde, çalışanın sürdürdüğü faaliyetin, belli bir süreliğine duraklamasına yol açıp, şiddeti ne olursa olsun çalışana zarar veren bir olay olarak tanımlanabilir. Emek yoğun bir şekilde sürdürülen faaliyetlerin çalışanlar için pek çok yaralanmaya mahal verebileceği görülmüş ve bu tür olayların, nedenleriyle birlikte ortaya çıkarılması ve ortadan kaldırılabilmesi için yerinde çıkarımlar yapılabilmesi hedeflenmiştir. Zorlu çalışma koşullarının etkisiyle, çalışanlar sürdürdükleri ağır fiziksel eylemleri boyunca, eklem yerlerinde, kaslarında ya da bel bölgelerinde sıklıkla meydana gelen fiziksel zorlanmalar sebepli rahatsızlıklar yasayabilmektedir.

- Çalışanların faaliyetlerini sürdürürken, vücutlarının herhangi bir bölgesinde fiziksel zorlanma yaşamalarının sebebi nedir?

Yeraltı madeninde yaşanan fiziksel zorlanmaların en belirgin nedeni, maden çalışma zemin koşulları olarak belirtilebilir. Çünkü zeminin sulu, engebeli ya da çamurlu olması, çalışanın öncelikle denge sorunu yaşamasına neden olup, kolaylıkla eklemlerinde ya da kaslarında fiziksel zorlanma yaşamasına sebep olabilecektir. Çalışanların, faaliyetleri süresince hangi duruş ve pozisyon içerisinde olup, nasıl hareket edeceklerine dair ve zorlu koşullarda nelere dikkat etmeleri gerektiğine ilişkin İSG eğitimlerini almış ve ilgili tüm uyarıları gerekçeleriyle kavramış olmaları gerekir. Fiziksel zorlanma için diğer önemli neden çalışanların tekrarlı faaliyetler yapmaları sonucu anlık dikkatlerini de kolaylıkla kaybedebilmeleridir. Dolayısıyla, her türlü olumsuz çalışma koşullarında, kişinin kendisini fiziksel olarak zorlanmalardan koruyabilmesi, ancak sahip olduğu ilişkili İSG bilgisine ve anlık dikkatine bağlıdır.

Sonuç: Çalışanın fiziksel zorlanma yaşamasındaki önemli etkenler, ‘maden çalışma zemini’, ‘İSG Eğitim’ ve ‘anlık dikkat’ olarak belirlenebilir.

Alınan bilgiler doğrultusunda fiziksel zorlanma için hata ağacının Şekil 5.15'teki gibi oluşturulması mümkündür.



Şekil 5.15 : Fiziksel zorlanma üst olayı hata ağacı gösterimi.

5.2.3.5 'Patlamadan etkilenme' nedensel sorgulama

Patlatma, tüm yeraltı madenlerinde kayaç içindeki malzemenin dökülmesi için yapılan büyük ölçekli önemli bir aşamadır. Yeraltı madenciliğinde sık bir şekilde dinamit patlatma faaliyetleri yapılmaktadır.

- Patlatmalar nasıl gerçekleştirilir? Kişiler nasıl korunur?

Yeraltında faaliyetler gereği gerçekleştirilen patlatmalar, kontrollü patlamalardır. Patlatmalar, patlatma bölgesinin belirlenmesi ve gerekli uyarıların yapılması ile kontrollü bir şekilde gerçekleştirilir. Uyarılar ile çalışanlar patlatma bölgesinden uzak tutulur. Çalışanlar, ilgili uyarılar geçene kadar patlatma bölgesinin dışında kalmaları halinde, patlatmadan etkilenmezler. Kontrollü gerçekleştirilen bir patlatmaya maruz kalabilmeleri için kişilerin ancak patlatma bölgesinde bulunmaları gerekir.

Sonuç: Patlamadan etkilenme olayı için etkili unsurlardan biri 'patlama bölgesinde bulunma'dır.

- Kişinin patlatma bölgesi içinde ya da dışında olmasını belirleyen unsurlar nelerdir?

Patlatma yapılacağı zaman patlatma yönergesine uygun olarak görsel ve işitsel patlatma uyarıları yapılır. Patlatma bölgesinin işaretlenip, patlatma uyarılarının yapılması ile çalışanların o bölgeye girmemeleri sağlanır. İlgili yasak, yasalarla (Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, 2013) detaylarıyla tanımlanmış olup, İSG eğitimlerinde çalışanlara önemle aktarılır.

Sonuç: Kişinin patlatma bölgesinde bulunmasını belirleyici unsurlar, patlatmadan sorumlu ekibin ‘patlatma uyarıları’nı yeterli düzeyde yapması ve çalışanların bu uyarıların anlamına hâkim olmalarını sağlayan ‘İSG Eğitimi’dir.

- Kişi uyarılara rağmen dikkatsizce patlatma bölgesine girebilir mi?

Patlatma uyarıları oldukça dikkat çeken hem sesli ve hem görsel alan uyarılarından oluşur. Tüm bunların yok sayılması, dikkatsizlik sonucu anlık bir hata olması düşünülemez.

Sonuç: Gerekli uyarılar yapılmışsa, bir çalışanın patlatma bölgesinde bulunmasının nedeni dikkatsizlik değildir.

- Patlatma uyarılarının yeterli düzeyde yapılmasını ve yapılmamasını belirleyen etken değişkenler nelerdir?

Patlatma faaliyeti, yeraltında denetimli olarak sürdürülür. Patlatmadan sorumlu çalışanlar, gerekli uyarıların neler olduğunu ve uyarıların gerekçelerini aldıkları eğitimler kapsamında bilirler. Eğer uyarılar gerektiği gibi yapılmamışsa, bu anlık bir hata değil, eğitim ihmaline ve aynı zamanda İSG denetim eksikliğine dayandırılabilir.

Sonuç: Patlatma uyarılarının yeterli düzeyde yapılmasını belirleyen etkenler, ‘İSG Eğitim’ ve ‘İSG Denetim’ olarak belirlenir.

- Patlamalar kontrolsüz de gerçekleşebilir mi?

Eğer yönergede belirtilen ateşleme hususlarına aykırı işlemler yapılırsa, patlatma kontrol edilemeyebilir. Bir önceki ateşleme sonrası patlamayan patlayıcı olup olmadığına dair yeterli kontroller yapılarak, kontrol dışı patlamaların önüne geçilir.

Sonuç: Kontrol dışı patlama olmasındaki önemli etkenler, ‘ateşleme kurallarına uyum’ ve ‘ateşleme sonrası kontrol’ olarak belirlenebilir.

- Çalışanın ‘ateşleme kurallarına uyum’ olarak ifade edilen tutumunu etkileyen faktörler nelerdir?

Patlamadan sorumlu çalışan, süreci gerçekleştirirken uyması gereken kuralları, nedenleriyle birlikte aldığı eğitimlerle öğrenir ve uygular. Diğer bir deyişle, çalışan tarafından ateşleme kurallarına uyulmaması, çalışanın İSG kurallarına aykırı davranmasının bir örneğidir. Bunun sebebi de aldığı eğitimin yetersiz olmasıdır. Diğer yandan ilgili kurallar, içinde bir dizi alt kuralları barındıran, sürece yayılmış faaliyetler

bütünüdür. Dolayısıyla çalışan, konu ile ilgili deneyimli ve bilgili olmasına rağmen, ateşleme kurallarına dair anlık bir dikkatsizliği sebepli ihmalde bulunup, yanlış bir davranışta bulunabilir. Sonuç olarak, çalışanın aldığı eğitim yetersizse ya da çalışan eğitimde verilen unsurlara tam olarak vakıf değilse ya da anlık dikkatsizliği sebepli ihmallerde bulunursa, kurallara aykırı hareket edip, patlatmanın kontrolünün kaybedilebilmesine neden olabilir.

Sonuç: Çalışanın 'ateşleme kurallarına uyum' tutumunun kök nedenleri, 'İSG Eğitim' ve 'dikkatsizlik' unsurlarıdır.

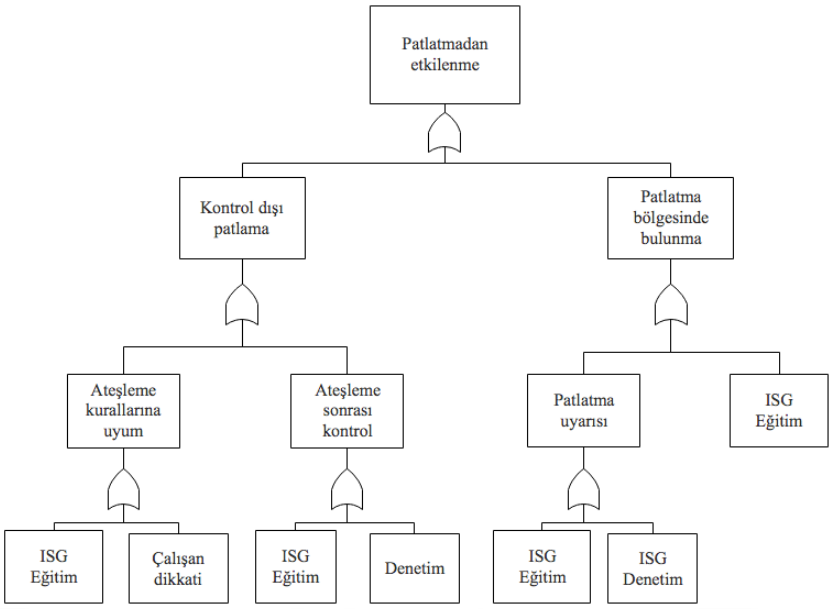
- Ateşleme-patlatma sonrası kontrol nedir?

Ateşleyici olarak görev yapan çalışan, patlayıcı madde kullanılması koşullarını yerine getirmek üzere bir yeterlik belgesine sahiptir. Patlatma sonrasında, patlayıcıların hepsinin patlayıp patlamadığı yetkili kişi tarafından kontrol edilir. Eğer patlamamış patlayıcı varsa, uygun bir şekilde dinamit-lağım deliği temizlenir. Eğer delik boşaltılamıyorsa, hemen yanına yerleştirilecek bir dinamitle, patlamamış dinamitin patlatılmasına çalışılır. Eğer patlamamış dinamit bulunamazsa, bir sonraki vardiyaya bu durum bildirilir. Bu unsurlar usullerine göre yapılmazsa beklenmeyen bir patlama gerçekleşebilir. İlgili usuller yönetmelik (Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, 2013) kapsamında da ayrıntılı verilmiştir. Ateşleyici, aldığı eğitimler aracılığıyla, patlatma sonrası kontrolün hayati önem taşıdığını bilir.

En tehlikeli faaliyetlerden biri olduğu için yeraltında patlatma süreçleri her zaman yönetimsel denetim eşliğinde gerçekleştirilir. Dolayısıyla, bunca önlem içerisinde, ateşleyici kontrolle ilgili yanlış bir tutum içine giriyorsa, bu durum aldığı eğitimin yetersizliğinden ve aynı zamanda süreç denetiminin yeterli düzeyde sağlanmamasından kaynaklanır. Eğer denetleme eksikliği olursa ve de ateşleyici konusuyla ilgili bilgi-eğitim eksikliğine sahipse, söz konusu ihmal yapılabilir ve kontrolsüz bir patlamanın gerçekleşmesine sebep olunabilir.

Sonuç: Ateşleme-patlatma sonrası kontrolün kurallara uygun bir şekilde yapılmasını belirleyen etkenler, 'İSG Eğitim' ve 'İSG Denetim' olarak belirlenir.

Yeraltı madeninde patlatmadan etkilenme olayının nedensel çözümlenmesine dair hata ağacını Şekil 5.16'daki gibi oluşturmak mümkündür.



Şekil 5.16 : Patlatmadan etkilenme üst olayı hata ağacı gösterimi.

5.2.3.6 'Gaz sızıntısı-su baskını' nedensel sorgulama

Yeraltı madenleri jeolojik oluşumlar sonucu önceden tam olarak tahmin etmenin zor olduğu kayaç yapıları içerisinde faaliyet gösterir. Yaşanması halinde, şiddetli sonuçları olabilecek degaj olarak ifade edilen gaz veya su püskürmeleri-boşalmaları riski, yeraltı madenlerinin önemli tehlikelerindendir.

- Madende gaz sızıntısı ya da su baskını nasıl meydana gelir?

Yeraltında maden çıkarımları patlatmalarla malzemenin gevşetilerek dökülmesi ile sağlanır. Fakat dökülen malzemenin arkasında su ya da gazla dolu bir boşluk varsa, dinamit patlaması ardından bu birikintiler maden içerisine doğru sızabilir ve salınan tehlikeli gazlar sebepli gaz sızıntısı ya da ortaya çıkan su sebepli su baskınları yaşanabilir.

Sonuç: Faaliyet gösterilen bölgenin arkasında 'gaz ya da su birikmeleri'nin olması, bir arada ele alınan gaz sızıntısı-su baskını olaylarının temel nedenidir.

- Çalışılan bölgenin arkasında gaz/su birikimleri oluşmasının sebebi nedir?

Gaz/su birikmeleri, jeolojik yapı sebepli oluşur. Eski çalışılmış bölgelerin boşlukları da gaz/su birikmesi için uygun bölgelerdir. Fakat kayacın içinde bulunduğu yapıya göre gaz ya da su sızıntıları olup boşluk bölgeleri dolduracağı için, birikmelerin engellenmesi müdahale edilebilir olaylar değildir.

Sonuç: 'Gaz ya da su birikmelerinin nedeni 'jeolojik yapı'dır.

- Uzmanların deneyimledikleri bir olay olmasa da sonuçlarının şiddetli olduğu bilinen bu felaketlerin olmaması için alınan önlemler nelerdir?

Sorumlu çalışanlar çalışılan bölgenin eski planlarını ve mevcut haritaları inceleyip, belirli saha içinde boşluk olup olmayacağını öngörmeye çalışırlar. Varsa geçmiş çalışma haritalarına bakarak sağlanan saha kontrolleri ile bu olayların yaşanmaması için önlemler alınır.

Sonuç: İlerleme yapılacak bölgede gaz ya da su birikmesi gibi bir tehlike olup olmadığı 'saha kontrolleri' ile anlaşılır.

- Saha kontrolünün yapılmaması söz konusu olabilir mi?

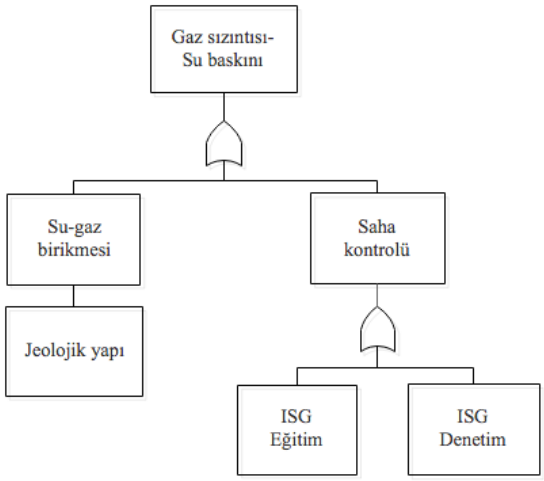
Saha kontrolünün her ilerleme öncesinde yapılabilmesi, işyerinin güvenli üretim stratejileri gereği çalışanlarına verdiği eğitimlere ve sorumluların konuyla ilgili denetimlerine bağlıdır.

Sonuç: 'İSG Eğitim' ve 'İSG Denetim' saha kontrolünün etkili bir şekilde yapılabilmesinde belirleyici unsurlardır.

- Saha kontrollerinin yapılması, olası gaz ya da su sızıntısı ile ilgili felaketlerin önüne geçilmesini sağlar mı?

Saha kontrolleri yapılsa da kontrol sonucu edinilen bilgilerin doğru yorumlanmaması ya da bu bilgiler doğru yorumlansa da jeolojik yapının bilinmeyen bir durum sunması, ilgili felaketlerin yaşanmasını yine de söz konusu kılabilir.

Gaz sızıntısı veya su baskını olaylarının meydana gelişinin nedensel çözümlenmesine dair ilgili hata ağacı Şekil 5.17'de verilmiştir.



Şekil 5.17 : Gaz sızıntısı-su baskını üst olayı hata ağacı gösterimi.

5.2.3.7 ‘Düşme’ nedensel sorgulama

Ekipman yaralanması, kavlak düşmesi gibi sıkça gerçekleşen kazalardan biri olan ‘düşme’ olayı da hastaneye yansıyan bir durum olmadığı sürece kayıt altına alınmayan olaylardan biri olarak gözükmektedir. Madendeki olumsuz çalışma şartlarının, çalışanların faaliyetlerini sürdürürken kolaylıkla düşmelerine sebebiyet verebildiği anlaşılmıştır.

- Çalışanların düşme sebepleri nelerdir ve engellemek mümkün müdür?

Çalışanların düşmelerine neden olan en belirgin neden ekipman yaralanması kazasında olduğu gibi, çalışma zemini bozukluğudur. Olumsuz zemin koşullarında faaliyet gösteren çalışan, düşmeye meyillidir.

Sonuç: ‘Çalışma zemini’, düşme olayı nedenidir.

- Çalışanın düşmemesi için alınacak önlemler var mıdır?

Olumsuz zemin koşulları maden çalışma şartlarının doğası gereği meydana gelmektedir. Elbette zemin düzleme çalışmalarının yapılması sağlanabilir, fakat bu faaliyetin firma süreçlerine eklenmesinin, ancak gelişmiş teknolojilerin kullanıldığı yeraltı madenlerinde söz konusu olabileceği görüşüne ulaşılmıştır. Dolayısıyla düşme kazalarının önlenmesi, ancak çalışanın olumsuz çalışma koşullarında, duruş pozisyonuna ve nasıl hareket etmesi gerektiğine dair yönergelerin İSG eğitimleriyle çalışanlara sunulması ve çalışanın düşmemek için dikkat etmesi gereken hususlara dair bilgilenmesi ile mümkün kabul edilebilir.

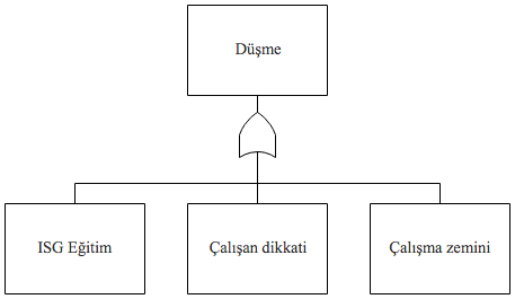
Sonuç: ‘İSG Eğitimi’ düşme olayı belirleyicilerindendir.

- Engebeli zeminde nasıl hareket edeceğine dair deneyimli ve bilgili bir çalışanın maden koşulları ne olursa olsun düşme ihtimali var mıdır?

Yeraltı madenciliği en ufak bir dikkatsizliğin bile tolere edilemeyeceği şartlara sahiptir. Bu sebeple zorlu şartlara dair deneyimi olan çalışan bile, anlık dikkat isteyen faaliyetler olan ayna bölgesinde kürek kullanımı, tahkimat sağlama, vagonla nakliyat ve yükleme işlemleri süresince anlık dikkatsizlikleri sebebiyle, faaliyetleri süresince düşebilmektedirler.

Sonuç: ‘Çalışan dikkati’ düşme olayı nedenlerindendir.

Düşme olayının meydana gelişinin nedensel çözümlenmesine dair ilgili hata ağacı Şekil 5.18'de verilmiştir.



Şekil 5.18 : Düşme üst olayı hata ağacı gösterimi.

5.2.3.8 'Göçük' nedensel sorgulama

Göçük kazaları, yeraltı madenciliğinin en büyük tehditlerinden biri olup, çalışanların hayatlarını yitirmelerine ya da kalıcı iş görememelerine sebep olurlar.

- Madenlerde göçük kazaları nasıl meydana gelmektedir?

Göçükler, yeraltı madenlerinde kayaçların ağırlığı sebebiyle meydana gelir. Duvarlardan ve tavandan yıkılmaların olmaması için yeraltı madenleri içinde tahkimatlarla destekler yapılır. Dolayısıyla göçük kazalarında beklenen en önemli unsurlardan biri tahkimatın yetersizliğidir. Eğer tahkimatla gereken destek sağlanmazsa, göçük kazalarının yaşanılması kaçınılmazdır. Tahkimatlar zamanla dayanıksızlaşıp, yetersizleşebilir ve madenin içinde bulunduğu jeolojik yapının baskısına dayanamayarak göçüğe sebebiyet verebilir. Göçük ihtimali, kömür madeni gibi hassas-yumuşak kayaç yapılarında çalışılan madenlerde oldukça yüksektir. Fakat krom madeni gibi sert kayaç içinde faaliyet gösteren madenlerde göçük ihtimali her zaman çok daha düşüktür. Bu yüzden kömür madenlerinde göçük kazaları sıkça yaşanır ve göçük olayları ISG ile ilişkili incelemelerde her zaman ön planda tutulur. Fakat krom madenleri, jeolojik yapısının da sağladığı destekle göçük kazalarına karşı daha dayanıklıdır. Krom madenlerinin yapısal olarak sert ve dayanıklı olması göçüğe karşı doğal koruma sağlasa da kırıklı-faylı bölgeler göçüğe karşı daha meyillidir.

Sonuç: Göçük olayını etkileyen unsurlar, 'tahkimatın yeterliliği-etkinliği' ve 'jeolojik yapı' olarak belirtilir.

- Tahkimatın etkinliği nasıl belirlenir ve etkinliğe etki eden unsurlar nelerdir?

Tahkimat, jeolojik yapıyla ilişkili unsurlar sebepli eskimeye ve destek gücünü zamanla yitirmeye başlar. Bu durumda tahkimatın eskimeye başladığı ağaç tahkimattan görsel

ve çıkan sesler ile işitsel olarak fark edilebilir. Gerçekleştirilen tahkimat kontrolleri ile etkinliği yetersiz kalan tahkimatların güçlendirilmesi ya da yenilenmesi sağlanır.

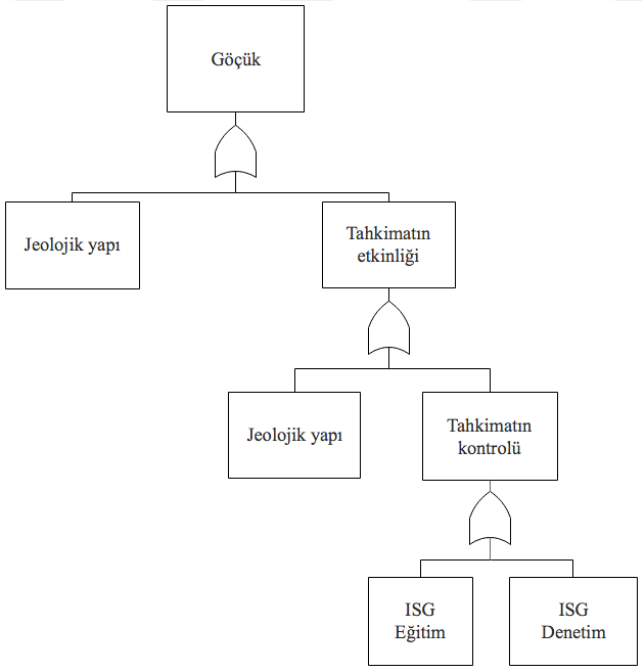
Sonuç: Tahkimatın etkinliğini belirleyen unsurlar, 'tahkimatın kontrolü' ve 'jeolojik yapı'dır.

- Tahkimatın kontrolünün yeterli yapılmasını belirleyen unsurlar nelerdir?

Kavlak düşürme faaliyeti gibi, tahkimat kontrolünün sağlanması da maden içindeki her çalışanın daimî sorumluluklarındandır. Fakat tahkimatın yetersizleştiğini anlayabilmek için çalışanın öncelikle gerekli eğitime sahip olması gerekir. Tahkimat kontrollerinin yapılması konusunun firmadaki önemini belirleyen unsurlardan biri de firmanın sahip olduğu denetim politikasıdır. Tahkimatların kontrolleri konusunda çalışanlar ve maden yöneticileri sorumludur.

Sonuç: 'Tahkimatın kontrolü', nün yeterli düzeyde yapılmasını sağlayan unsurlar, 'İSG Eğitim' ve 'İSG Denetim'dir.

Göçüklerin meydana gelmesine ilişkin hata ağacı gösterimi Şekil 5.19'daki gibi ifade edilebilir.



Şekil 5.19 : Göçük üst olayı hata ağacı gösterimi.

5.2.3.9 Yeraltı kepçesi devrilmesi' nedensel sorgulama

Madenlerde kullanılan ekipmanlar, şiddetli sonuçları olan önemli kaza etkenlerindendir. Doldur-taşı-boşalt faaliyetlerini yerine getiren ve işletmelerde yeraltı

kepçeleri olarak ifade edilen LHD (yeraltı mini yükleyicileri) araçlarının devrilmesi sonucu araç operatörlerinin yaralanması çalışmaya dahil edilmiştir. Bu kaza türü, firmanın geçmiş kazaları arasında var olup bir çalışanın 43 günlük iş görememesine neden olmuştur.

- Yeraltı madeninde kullanılan kepçeler hangi hallerde devrilebilir?

Yeraltında çalışırken kepçe devrilmesinin ilk nedeni zemin koşulları olarak görülebilir. Engebeli çalışma alanlarında, operatör kepçenin kontrolünü zorlukla sağlar. Bu yüzden özellikle olumsuz zemin koşullarında çalışırken, operatörün ortam koşullarını sürekli analiz ederek sürüş dikkatini kaybetmemesi gerekmektedir. Aksi takdirde, aracın devrilmesi halinde operatörün de yaralanması kaçınılmaz olabilir.

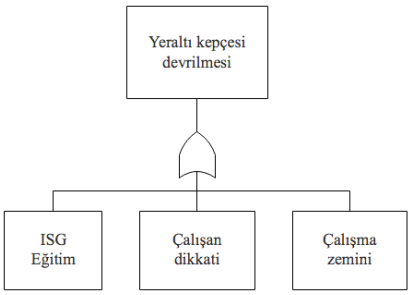
Sonuç: 'Çalışma zemini' ve 'çalışan dikkati', yeraltı kepçelerinin devrilmesinde etkili unsurlardır.

- Yeraltı kepçesinin devrilmemesi için alınabilecek önlemler nelerdir?

Yeraltı kepçe kullanımı uzun süreli bir faaliyettir. Operatörün kesintisiz kontrol sağlamasının mümkün olmayacağı düşünülürse, operatöre, dikkatle önüne geçilebilecek hatalar yapmaması üzerine eğitimler vermek yerinde olacaktır. Operatörün aracın kontrolünü hangi şartlarda nasıl sağlaması gerektiğini bilmesi halinde, yeraltı kepçesi devrilme kazalarının azalması sağlanabilecektir. Dolayısıyla operatörün konuyla ilişkili İSG eğitimlerini yeterli düzeyde alması bu kazanın yaşanmaması için önemli önlemlerden kabul edilebilir.

Sonuç: 'İSG Eğitimi', yeraltı kepçelerinin devrilmesinde etkili unsurlardır.

Yeraltında malzemelerin toplanması, yüklenmesi ve taşınması faaliyetlerinden sorumlu olan ve yeraltı kepçesi olarak ifade edilen LHD kazıyıcıların devrilmesinin gerçekleşmesiyle ilgili hata ağacı gösterimi Şekil 5.20'de verilmiştir.



Şekil 5.20 : Yeraltı kepçesi devrilmesi üst olayı hata ağacı gösterimi.

5.2.3.10 ‘Aracın çalışana çarpması’ nedensel sorgulama

Aracın çalışana çarpması, yeraltı madeninde yeraltı kepçesi ve vagonların kullanımı sırasında meydana gelebilmektedir. Araçların ayna ve taşıma faaliyetleri sırasında bölge çalışanlarına çarpması, yeraltı madenlerinde sıkça yaşanan olaylardandır.

- Yeraltı madenciliği kazalarından kabul edilen aracın çalışana çarpması kazası nasıl meydana gelmektedir?

Aracın çalışana çarpması operatörün hatası sebepli ya da operatörün araca mekanik olarak istenilen komutu uygulatamaması sebepli gerçekleşmektedir.

Sonuç: Aracın çalışana çarpması olayı ‘operatör kaynaklı çalışana çarpma” veya “araç arızası sebepli çarpma” şeklinde meydana gelmektedir

- Operatör kaynaklı çalışana çarpma olayı nasıl meydana gelmektedir?

Yeraltında kullanılan yükleme, taşıma ve boşaltmadan sorumlu yeraltı kepçeleri çok dar ve zeminin düz olmadığı bölgelerde faaliyet gösterebilmektedirler. Madenin yeraltı nakliyesinde kullanılan vagonlar da raylar üzerinde vagoncu tarafından itilirken, vagonun kontrol çıkarak yoldan geçen çalışana çarpması söz konusu olabilmektedir. Anlık dikkatsizlik ile birlikte, maden zeminindeki olumsuz şartlar da araç çarpmalarına neden olmaktadır.

Sonuç: ‘Çalışan dikkati’ ve ‘çalışma zemini’, yeraltında kullanılan kepçelerin çalışana çarpmasındaki etkili unsurlardır.

- Araçların çalışanlara çarpmasını engellemek için alınan önlemler nelerdir?

Yapılan İSG eğitimlerinde faaliyetlerin güvenli bir şekilde sürdürülmesi için dikkat edilmesi gereken unsurlar çalışanlara kapsamlı bir şekilde aktarılmalı, çalışanların kazalara dair farkındalığı arttırılarak, İSG ile ilişkili kurallara karşı daha dikkatli olması sağlanır.

Sonuç: ‘İSG Eğitimi’, yeraltında kullanılan araçların çalışana çarpmasında etkili bir unsurdur.

- Aracın arıza sebepli çalışana çarpması nasıl meydana gelmektedir?

Aracın frenlerinin tutmaması ya da direksiyonun kilitlenmesi gibi tamamen teknik ve performansı bakıma bağlı olan nedenlerden dolayı, operatörün araca istediği manevrayı yaptıramaması sebepli çarpma yaşanmasıdır.

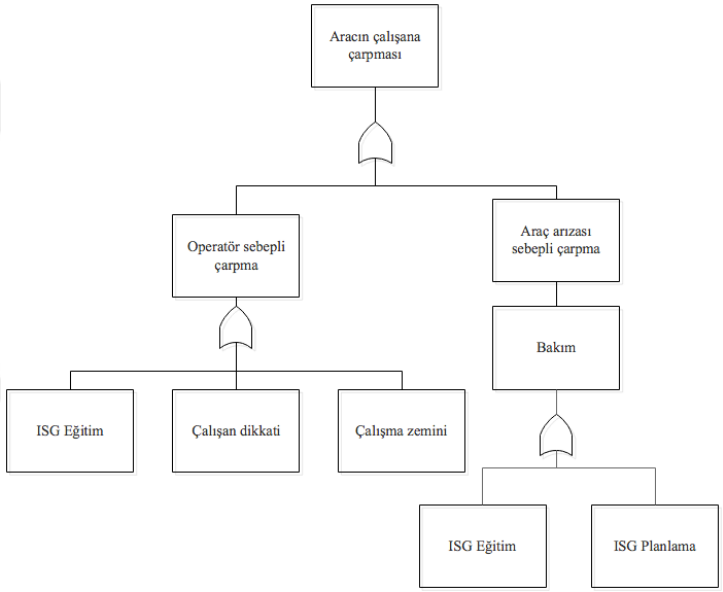
Sonuç: Araç arızası sebepli çarpma olayının nedeni, ‘bakım’ unsuru olarak ele alınır.

- Araçların çalışana çarpmasında etkili bir unsur olan bakımın yeterliliğini belirleyen etmenler nelerdir?

Bakım unsurunun başarılı bir şekilde yapılmasını sağlayan etmenler İSG ile ilişkili planlama ve bakımdan sorumlu çalışanın ilgili konudaki eğitim seviyesidir.

Sonuç: Bakım unsurunun yeterliliğini belirleyen etmenler, ‘İSG Eğitim’ ve ‘İSG Planlama’ olarak ele alınır.

Dolayısıyla, vagon ve yeraltı kepçesinin çalışana çarpmasına dair kazanın nasıl gerçekleştiğini sunan hata ağacı aşağıdaki Şekil 5.21’de gösterildiği gibidir.



Şekil 5.21 : Aracın çalışana çarpması üst olayı hata ağacı gösterimi.

5.2.3.11 ‘Çalışanın üzerine malzeme düşmesi’ nedensel sorgulama

Türkiye’de pek çok madende çoğu faaliyet için en azından mekanizasyon sistemine geçiş yapılmış olsa da bazı faaliyetler için yapılacak teknolojik yatırımların firma kârına etkisi doğrudan gözlenemediği için, ilgili faaliyetler emek-yoğun sürdürülmeye devam etmektedir. Madenin yeraltındaki taşımacılığında kullanılan vagonlar, neredeyse ülkemizin bütün metal madenciliğinde insan gücü ile hareket ettirilmekte olup, İSG bakımından pek çok tehlikeyi bünyesinde barındırmaktadır. Çalışma kapsamındaki ‘çalışanın üzerine malzeme düşmesi’ olayında, vagonları iten ya da vagonlara malzeme dolduran çalışanların üzerlerine malzeme düşmesi olayı ele alınmaktadır. Dolayısıyla bu olay malzeme nakliyesinde el arabası ve vagon kullanılan madenler için geçerlidir. Çalışanların içi maden yüklü vagonları ray boyunca iterken

ve özellikle vagonlara manevra vermeye çalışırken üzerlerine malzeme düşmesi olayı sıkça yaşanabilmektedir.

- Yeraltı maden taşımacılığına kullanılan vagonları ray boyunca süren çalışanların yaşadığı, üzerlerine malzeme düşmesi olayı nasıl meydana gelmektedir?

Raylar zamanla aşınmakta, gerekli standartlarını kaybedebilmektedir. Vagoncu ya da rayları denetleyen çalışanların böylesi bir durumu fark etmemesi halinde, ray kalitesinin düşmesi sebepli vagon devrilmeleri ya da vagon sarsılmaları sebepli, vagondan malzeme düşüp vagoncuyu yaralaması olayları yaşanabilmektedir.

Sonuç: 'Ray kalitesinin yetersiz düzeyde olması', vagoncunun üzerine malzeme düşmesi olayında önemli nedenlerdendir.

- Ray kalitesinin düşmemesi için alınan önlemler nelerdir?

Ray kalitesinin düşmemesi için ray kontrolleri, sağlanan denetimlerle ve çalışanlara ray kalitesinin kontrolü konusunda verilen eğitimlerle yapılır. Ocak yöneticileri, çalışanların sorumlu oldukları faaliyetlerini sürdürmeleri için kullandıkları rayların teknik olarak sağlıklı olup olmadıklarını sıklıkla denetlerler.

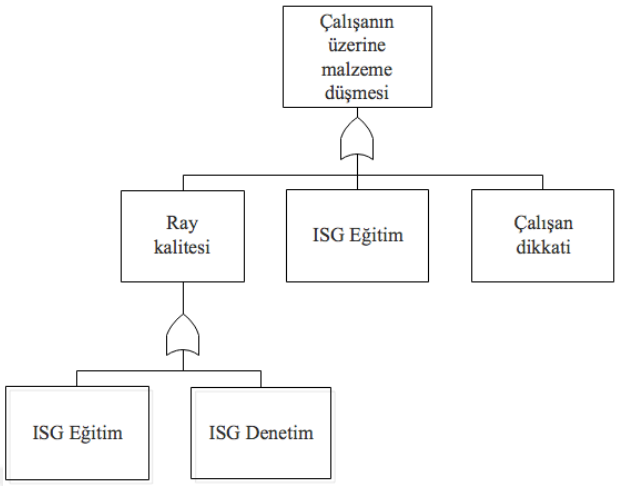
Sonuç: 'Ray kalitesi' durumunun belirleyicileri 'İSG Denetim' ve 'İSG Eğitim'dir.

- Raylarda aşınma olmasa bile, vagoncunun üzerine malzeme düşebilir mi?

Vagon sürmek, yeraltı madenciliğinin en ağır ve zorlu faaliyetlerindendir. Çalışanın, anlık bir dikkatsizlikle manevra yerlerini fark edilmemesiyle birlikte, yüklü vagon sarsılabilir hatta devrilebilir. Bu durum vagoncunun üzerine vagondan malzeme düşmesine neden olabilir. Aynı şekilde vagonu kafese yüklerken ve diğer katlardan oluk aracılığıyla gönderilen malzemeleri vagonlara doldururken, çalışanın vagonu eğitimlerde belirtildiği miktarda ve şekilde doldurmaması ya da faaliyeti gerçekleştirirken olması gereken pozisyonda bulunmaması gibi İSG eğitimlerinde belirtilen hususlara aykırı davranması da bu tür kazaların yaşanmasında önemli etkenlerdendir. Bu yüzden çalışanın anlık bir dikkatsizliği ve İSG eğitim kurallarını gerekçeleriyle bilmemesi, kendi üzerine malzeme düşmesine neden olmasına yol açabilir.

Sonuç: 'Çalışan dikkati' ve 'İSG Eğitim' vagoncunun üzerine malzeme devrilmesi olayının nedenleridir.

Böylelikle çalışanın üzerine malzeme düşmesi olayının hata ağacına yansıtılması Şekil 5.22'deki gibidir.



Şekil 5.22 : Çalışanın üzerine malzeme düşmesi üst olayı hata ağacı gösterimi.

5.2.3.12 'Vagon sebepli sıkışma' nedensel sorgulama

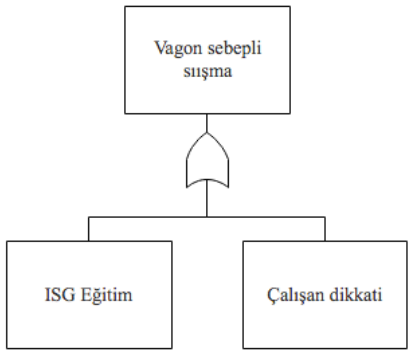
Raylar üzerinde vagonla sağlanan nakliyat sırasında, çalışanlar pek çok kere vagonlar arasına ya da vagonla oluk demiri veya kafes gibi maden içindeki pek çok malzeme arasına sıkışabilmektedirler.

- Maden çalışanlarının vagon sebepli sıkışma yaşamalarının nedenleri nedir?

Maden içinde yolların darlığı ve zemin koşullarının dengenin kaybedilmesine neden olmasından dolayı, mekanik olmayan ve tamamen elle yönetilen, oldukça ağır ve büyük vagonlar kimi zaman kontrol edilemeyebilirler. Vagon her ne kadar ray üzerinde sadece itme, çekme ve durdurma işlemleri ile hareket etse de vagoncunun anlık dikkatsizliği yüzünden yol üzerinde ya da manevra yaptıkları bölgeler üzerinde bulunan diğer çalışanlara çarpabilir. Ayrıca raylar üzerinde birden fazla vagon olabilmektedir. Özellikle kafese vagon verirken arka arkaya duran vagonlar sebepli sıkışma olabilmektedir. Vagoncunun sabitlemesi gereken vagonu sabitlememesi, İSG ile ilişkili eğitimine ağırlık verilmemesi ve dikkatsizliği bu kazaya sebebiyet vermektedir. Benzer şekilde vagoncuların, vagonu çevirdikleri ve vagona manevra yaptırdıkları bölgelerde de ilgili kuralların ihmal etmesi halinde, çalışanlar ağırlığından dolayı yönetmesi oldukça zor olan vagonlar arasına sıkışabilmektedir. Ya da vagoncunun vagonu yönettiği süreç içindeki dikkatsizliği sebepli, ocak içi ekipman taşıyan çalışanlar ve el arabası ya da vagon nakliyatından sorumlu çalışanlar maden duvarları ile vagon arasına sıkışabilmektedirler. Eğitimlerle, yeraltında vagonun

kontrolünden sorumlu madencilere, vagonun bir araç olduğunun ve tehlike anlarında kolaylıkla kontrol edilemeyebileceği ve kurallara mutlaka uyulması gerektiği aktarılır. Vagon kullanım güzergâhında, diğer çalışanlarla gerçekleşen tüm karşılaşma anlarında muhtemel sıkışma kazalarına dair mutlaka çok dikkatli olunması gerektiği anlatılır.

Vagon sebepli sıkışma olayının hata ağacı ile gösterimi Şekil 5.23'te sunulmuştur.



Şekil 5.23 : Vagoncu sıkışması üst olayı ile ilgili hata ağacı gösterimi.

5.2.3.13 'Kafes boşluğuna düşme' nedensel sorgulama

Yeraltı çalışanlarının ve malzeme yüklenen vagonların yeraltından yeryüzüne ihracı kuyular aracılığıyla gerçekleştirilir. Kuyular madenlerde iş güvenliği açısından tehlikeli olabilecek çalışma alanlarıdır. Bu yüzden kuyuya bağlı her katta güvenlik için çok önemli olan karakol ve kapaklar bulunur. Karakol kapağı açık olursa, kafes boşluğuna insan ya da vagon düşebilir. İnsan düşmesi çok ciddi yaralanma ve ölümlere yol açabilirken, eğer kuyuya vagon düşerse vagonun, düştüğü diğer katlardaki çalışanları çok ciddi şekilde yaralama ihtimali çok yüksektir.

- Kafes boşluğuna düşme kazası nasıl meydana gelir?

İçi malzeme dolu vagonlar yeryüzüne ihraç edilebilmek için kafeslere yüklenir. Yükleme aşamasında kafes önünde birkaç tane vagon bekliyor olabilir. Kafes boşluklarına herhangi bir şey düşmemesi için her katta karakol kapısı adı verilen bir güvenlik kapısı vardır. Bu karakollar vagon giriş-çıkış zamanı dışında sürekli kapalı tutulur. Karakollarda olabilecek arızalar derhal yetkililere bildirilir. Arızalı karakol, tamir edilene kadar vinç çalıştırılmaz. Bu kapı çalışan tarafından kapanır ve açılır. Eğer bu güvenlik kapısı, kafesin katta olmadığı bir zamanda açık kalmışsa, kuyudan insan ya da kafese yüklenmek üzere bekleyen vagonların düşmesi söz konusu olabilir. Kafesi yükleyen çalışan, İSG eğitimleri ile sağlanan kafes kullanma talimatlarını biliyor olmalıdır. Eğer talimatlarını ve gerekçelerini bilmiyorsa ve karakol kapısı

açıkken yapması gerekenlere uyum göstermezse, basit bir dikkatsizlik halinde, herhangi bir düşme kazasına sebebiyet verebilir.

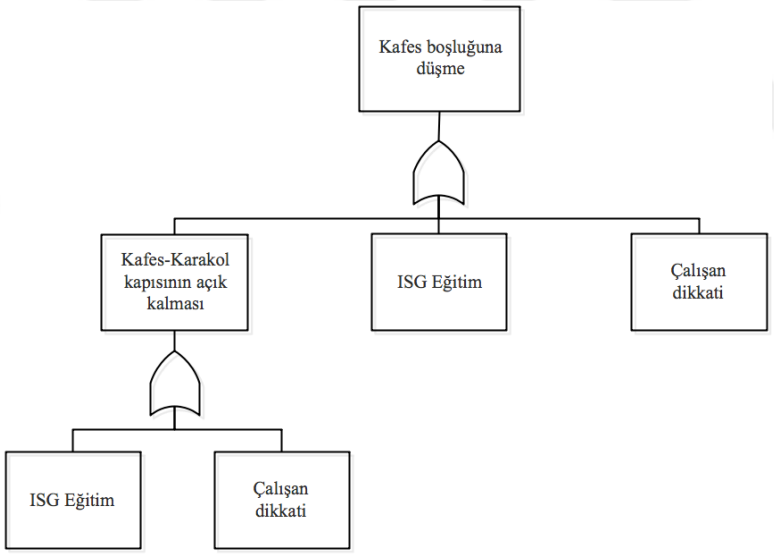
Sonuç: 'Karakol kapısının açık olması', 'İSG Eğitim' ve 'Çalışan dikkati' kafes boşluğuna düşme olayının nedenleridir.

- Karakol kapısının açık olmasının nedeni nedir?

Kafesi yükleyen çalışan, aldığı İSG eğitimleri ile karakol kapısının kullanılmadığı zamanlarda kapalı kalması gerektiğini bilir ve bu kurala uyar. Fakat anlık bir dikkatsizlikle eğitimin gerekliliklerini yerine getiremeyebilir ve kapı açık kalabilir.

Sonuç: 'İSG Eğitim' ve 'çalışan dikkati' unsuru, kafes karakol kapısının açık kalmasının nedenleridir.

'Kafes boşluğuna düşme' istenmeyen olayının nedenlerinin hata ağacına yansıması Şekil 5.24'te görüldüğü gibidir.



Şekil 5.24 : Kafes boşluğuna düşme üst olayı hata ağacı gösterimi.

5.2.3.14 'Kafes düşmesi' nedensel sorgulaması

Madenlerde malzemelerin ve insanların yeryüzüne ihracını sağlayan kafeslerin yerçekiminin de etkisiyle düşme riski ya da zemine çarpma riski bulunmaktadır. Operatör tarafından kontrol edilen vinç, yarı düşük otomasyon sistemleri sınıfında olan elektrikli motorla çalışan bir araçtır. Dolayısıyla, halat ya da mekanik sistemlerinde meydana gelebilecek bir arıza ya da operatörün söz konusu bir kumanda hatası ile kafesin zemine çarpması yaşanabilir.

- Yeraltı maden kuyularında kafes düşmesi kazası nasıl meydana gelebilir?

Yeraltı madeninde malzemelerin ve insanların yeraltından yeryüzüne ihracında kullanılan kafesler bir operatör tarafından kontrol edilen elektrikli motora sahip vinç ile sağlanmaktadır. Kafesin düşmesi için, kafesi taşıyan halatın kopması, vinç motor sisteminde bir sorun yaşanması ya da operatör kaynaklı meydana gelebilecek bir kumanda hatası olarak belirlenmiştir. Kafes kazalarının yaşanmaması için çeşitli güvenlik önlemleri alınmıştır. Halat sebepli düşme olursa paraşüt sistemi, kumanda sistemi sebepli bir nedenden düşme olursa da otomatik fren sistemi devreye girecektir.

Sonuç: Kafes düşmesi olayı, 'halat nedenli', 'mekanik arıza nedenli' ve 'operatör nedenli' meydana gelebilir.

- Halat kaynaklı düşüş nasıl gerçekleşebilir?

Halay kaynaklı düşüş, halatın kopması nedeniyle gerçekleşen düşmedir. Bu düşme hareketi ancak paraşüt sisteminin devreye girmesiyle engellenebilir. Bu sistemin çalışmaması halinde, kafesin düşmesi kaçınılmazdır. Paraşüt sistemi, asansör sistemlerinde, çekici halatın koptuğu zaman tırnakları sayesinde kafesin kenarlara tutunmasını sağlayan kafesi sıkıştırarak durduran ve kafeslerde bulunması zorunlu olan bir sistemdir (Maden ve Taş Ocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında alınacak İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Önlemlerine İlişkin Tüzük, 2014).

Sonuç: Halat kaynaklı düşüşün nedenleri, 'halat kopması' ve 'paraşüt sisteminin çalışmaması'dır.

- Halat kopmasının sebebi nedir?

Kafesleri taşıyan halat sistemi zamanla yıpranacaktır. Bu yüzden belli periyotlarla bakımlarının yapılması gerekir. Bakım periyoduna uygun hareket edilmesine dikkat edilmelidir ve bakım periyodundan bağımsız olarak halatta meydana gelen eskimelerin raporlanması ve halatın yenilenmesi gereklidir.

Sonuç: 'Halat kopması' olayını etkileyen değişken 'bakım'dır.

- Düşme başlayınca devreye girmesi beklenen paraşüt sisteminin devreye girmemesi mümkün müdür?

Oldukça etkili bir güvenlik önlemi olan paraşüt sistemi de zamanla yıpranma sebebiyle işlevini kaybedebilir. Gerektiği hallerde devreye girmemesi halinde, kafesin düşmesi kaçınılmazdır. Dolayısıyla paraşüt sistemini, belli bakım aralıklarıyla İSG

yönetmeliğine uygun olup olmadığının kontrol edilmesi gerekir (Maden ve Taş Ocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında alınacak İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Önlemlerine İlişkin Tüzük, 2014).

Sonuç: Paraşüt sisteminin etkinliğini belirleyen unsur 'bakım'dır.

- Mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi nasıl meydana gelebilir?

Elektrikli motor ile çalıştırılan ihraç vinçleri pek çok kapsamlı teknik ayar ve kontroller gerektirir. Vinç motoru ile hareketini sağlayan kafesin, vinç motorunun mekanik bir nedenden dolayı arızalanması mümkündür. Bu durum ancak günlük, haftalık, aylık gibi düzenli bakım ile engellenebilir. Vinç motorunun işlevsiz kalması ve kafesi birden salıvermesi söz konusu olduğunda, devreye otomatik fren sistemi girer. Otomatik fren sistemi kafesi aniden durdurabilir. Fakat İSG yönetmeliklerine göre belirtilen şekillerde ve belirli aralıklarla bakımlarının yapılmaması durumunda, fren sistemi devreye girmeyebilir ya da işlevini yerine getiremeyebilir. Bu sebeple bakım başarısı çok önemlidir.

Sonuç: Mekanik arıza kaynaklı düşüşün sebepleri, 'Mekanik arıza' ve 'otomatik fren sisteminin devreye girmemesi'dir. Her iki nedenin ortaya çıkmasındaki etken 'bakım' unsurudur.

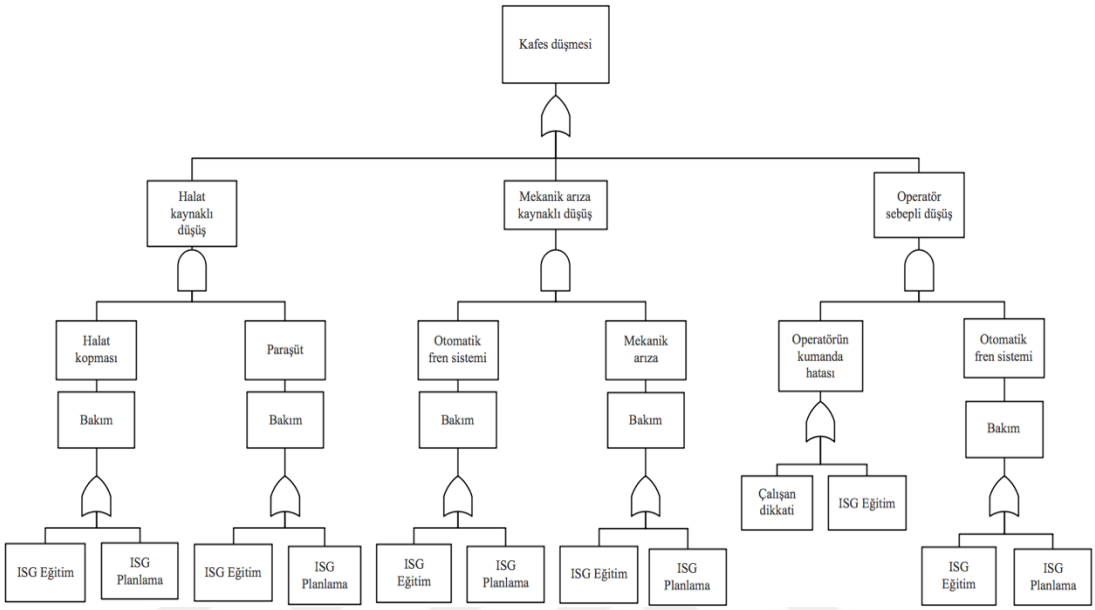
- Operatör kaynaklı kafes düşmesi nasıl meydana gelebilir?

Vinci kontrol eden operatör, kafesi hareket ettirebileceğinden, yaptığı kontroller sonrası emin olur ve kafesi harekete geçirir. Kafesin durması gerektiği katta da durdurmaktan sorumludur. Aldığı eğitimlere göre hareket etmemesi ya da anlık bir dikkatsizliği sonucu, kafese durması için uygun komutu vermemesi halinde, kafes kuyunun en dip noktasına kadar gidecektir. Bu durumda kuyu içinde belli bir emniyet noktasına geldiğinde otomatik fren sistemi devreye girecektir. Dolayısıyla, gerekli bakım şartlarına uyulmayan bir fren sisteminin varlığı söz konusu olursa, operatörün kumanda hatası ile birlikte kafesin kuyunun en dip noktasına düşüşü kaçınılmazdır. Sistemin bakım başarısını belirleyen unsur da bakım periyotlarının ve ekipmanlarının gerekli ölçüde hazırlanmış olmasını sağlayacak bir İSG planlama ile bakımdan sorumlu çalışanlara, bakım sürecine hâkim olmasını sağlayacak İSG eğitimlerinin yeterli düzeyde verilmiş olmasıdır.

Sonuç: Operatör kaynaklı düşüşün sebepleri, 'operatörün kumanda hatası' ve 'otomatik fren sisteminin çalışmaması'dır. Operatörün kumanda hatasının nedenleri,

‘İSG eğitimi’ ile ‘çalışan dikkati’ olarak sıralanırken, otomatik fren sisteminin devreye girmemesi, ‘bakım’ın yetersizliğine, bakımın yetersizliği de ‘İSG Eğitim’ ve ‘İSG Planlama’ya bağlıdır.

Kafes düşmesini ifade eden hata ağacı gösterimi Şekil 5.25’te gösterildiği gibidir.



Şekil 5.25 : Kafes düşmesi üst olayı hata ağacı gösterimi.

5.2.3.15 ‘Kafesin tavana çarpması’ nedensel sorgulama

Madenlerde malzemelerin ve insanların yeryüzüne ihracını sağlayan kafeslerin yerçekiminin de etkisiyle düşme riski olduğu kadar kafesin tavana, diğer bir deyişle vinç kulesine çarpma riski de bulunmaktadır. Çalışan tarafından kontrol edilen vinç, yarı düşük otomasyon sistemleri sınıfında olan elektrikli motorla çalışan bir araçtır. Dolayısıyla mekanik sistemlerde meydana gelebilecek bir arıza ya da operatörün söz konusu bir kumanda hatası ile kafes vinç kulesine çarpabilir.

- Kafesin kuyu tavanına çarpması nasıl gerçekleşir?

Kafese, ulaşması gereken noktaya geldiğinde durma komutunu veren operatör ilgili faaliyeti yerine getirmeyebilir ya da operatörün gerekeni yapmasına rağmen kafesin durmasını engelleyen mekanik bir sorun söz konusu olabilir. Bu durumda, önemli güvenlik önlemlerinden olan vinç kulesi yüzeyine yakın bir noktada, otomatik durdurma mekanizmasının devreye girmesi beklenir. İlgili sistem devreye girmezse kafesin vinç kulesine çarpması kaçınılmazdır.

Sonuç: Kafesin tavana çarpması kazasının nedenleri, ‘operatör kaynaklı’ ya da ‘mekanik arıza kaynaklı’ olarak ikiye ayrılır. Her iki durumda da ‘tavan durdurma mekanizması’nın devreye girmesi ile kaza önlenebilir.

- Operatör hangi nedenler altında kumanda hatası yapabilir?

Operatör sorumlu olduğu faaliyet kapsamında yapması gerekenleri, aldığı mesleki ve güvenlik eğitimlerinde öğrenir. Güvenlikle ilişkili hususlara dair kural ihlali yaparsa ya da kontrol edemediği anlık bir dikkatsizlik yaşarsa, kumanda hatası yapması söz konusudur.

Sonuç: Operatörün kumanda hatasının nedenleri, ‘İSG Eğitim’ ve ‘çalışan dikkati’dir.

- Kafesin mekanik olarak durmasına engel olan bir arıza hangi durumlarda ortaya çıkabilir?

Vinç motoru, operatörün durdurma komutunu almayabilir ya da komutu almasına rağmen kafes durması işlevini sağlamayabilir. Bu gibi yaşanacak arızaların tümü, motorun periyodik bakımlarının gerektiği dikkatle yapılması ile ortadan kaldırılır. Bakımın gerektiği gibi yapılması ise, bakım periyotlarının gereken sıklıkla planlanmasına ve bakımdan sorumlu çalışanın eğitimlerde verilen güvenlikle ilişkili hususlara gereken önemi vermesine bağlıdır.

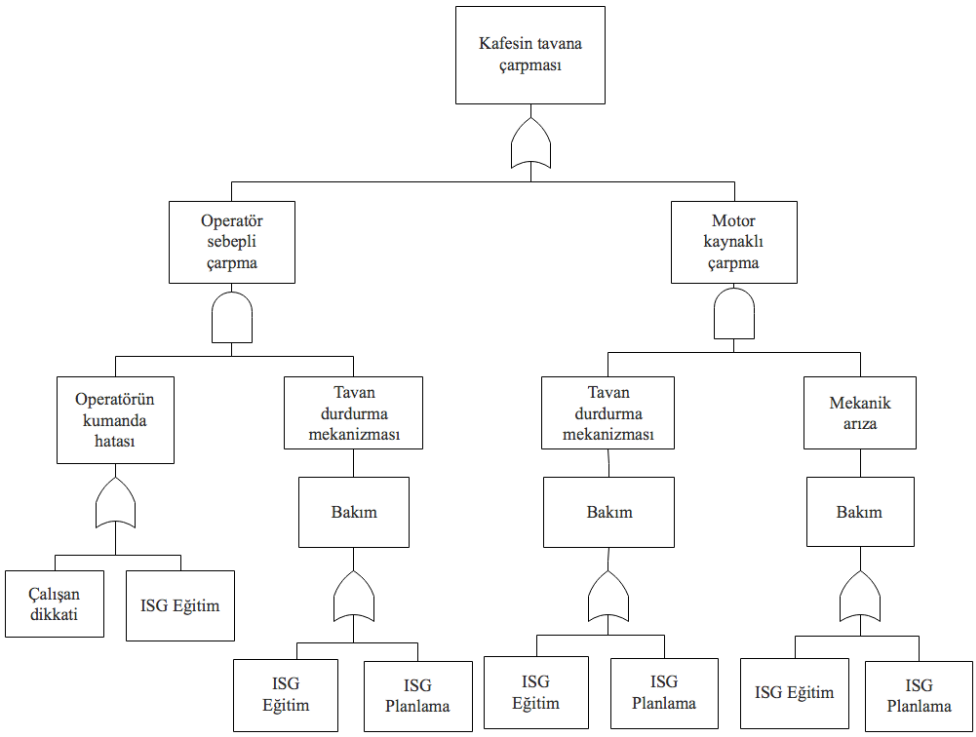
Sonuç: Vinç motorunun arızası konusunda önemli unsur “bakım” olup, bakımı etkileyen unsurlar da “İSG Eğitim” ve “İSG Planlama” olarak sıralanır.

- Operatör kaynaklı ya da motor kaynaklı bir sorun yaşandığında ve durması gereken yerde kafesin durması sağlanamadığında, tavan durdurma mekanizmasının devreye girmemesi mümkün müdür?

Tavan durdurma mekanizmasının bakımları düzenli aralıklarla yapıldığı sürece, sistem mutlaka devreye girecektir. Bakımın başarısı, bakım periyotlarının planlanmasına ve bakımın gerektiği gibi yapılmasına bağlıdır. Bakımdan sorumlu çalışana, dikkat etmesi gereken tüm hususlar ilgili eğitimlerde verilir.

Sonuç: Tavan durdurma mekanizmasının başarılı olmasındaki etkili neden ‘bakım’dır. Bakım’ı etkileyen unsurlar da ‘İSG Eğitim’ ve ‘İSG Planlama’ olarak kabul edilir.

Kafes düşmesi ile kısmen nedensel olarak birbirlerine benzeyen kafesin tavana çarpma olayının hata ağacı Şekil 5.26’da gösterildiği gibi oluşturulabilir.



Şekil 5.26 : Kafesin tavana çarpması üst olayı ile ilgili hata ağacı gösterimi.

Yeraltı madenciliği faaliyetleri sebebiyle meydana gelebilecek kazaların nedensel sorgulamaları, hata ağaçları yardımıyla grafiksel olarak sunulmuştur. Bütün ağaçların yapılandırılmasının ardından uzmanlar tarafından her bir kaza tekrar ele alınmış ve hata ağaçlarının doğrulaması yapılmıştır.

5.2.4 Ele alınan olaylar ile ilgili varsayımlar

Çalışma kapsamında ele alınmış faaliyetlerin ve ilişkili kazaların belirlenmesi, uzmanlarla yapılan çoklu görüşmeler sonrasında ortaya çıkarılmıştır. Dolayısıyla uzmanlarla yapılan risk analizi çalışmalarının kapsamı, uzmanların risk tutumlarına, uzmanların deneyimlerini ve bilgi birikimlerini belirleyen faaliyet gösterdikleri firmanın işleyişine ve analistin belirleyeceği sınırlara bağlıdır.

Çalışma kapsamında ele alınan olaylar ve nedenleri ile ilgili çeşitli varsayımlar bulunmaktadır. Örneğin KKD kullanmama yalnızca akciğer hastalığı için bir neden olarak kabul edilmiştir. Diğer istenmeyen olaylarda ele alınmamıştır. Yeraltı madenlerinde çalışan tüm işçilerin KKD kullanım gerekliliği oldukça hassastır ve bu kullanımın sağlanmaması durumunda, istenmeyen olayların sayısı ciddi olarak artacaktır. Buna rağmen solunum koruyucu maske dışındaki KKD kullanılmaması ile ilgili nedenler ve ilişkili olaylar çalışmaya dahil edilmemiştir. Diğer kişisel koruyucu donanımlar, el-kol koruyucu donanım olan eldiven, koruyucu giyecekler, iş elbiseleri

ve reflektif yelekler, baş koruyucu donanım olan baret ve işitme koruyucu kulak tıkaçları olarak sıralanır (Maden Sektörü Kişisel Koruyucu Donanım Rehberi, 2016). Solunum koruyucu maskeler dışındaki koruyucu donanımların maden çalışanları tarafından kullanılmamasının söz konusu bile olmadığı ve de olamayacağı kabul edilmiştir. Çalışmada ele alınan istenmeyen olaylar, bu koruyucu donanımlar kullanılsa bile gerçekleşeceğine inanılan olaylardır ve bu donanımlar çalışanlar tarafından kendi çalışma güvenlik konforları gereğince zorunlu olarak kullanılmaktadır. Baretsiz, koruyucu iş ayakkabısız, eldivensiz bir maden çalışanının mesai süresince sağlığını koruyabilmesinin söz konusu olamayacağı, çalışanın farkındalığı dahilindedir. Ayrıca çalışanlar zaten, yönetmeliklerle belirlenmiş çerçevede, İSG ile ilgili aldıkları eğitim ve işverenin bu konudaki talimatları doğrultusunda kendilerine sağlanan kişisel koruyucu donanımları doğru kullanmakla, korumakla, uygun yerlerde ve uygun şekilde muhafaza etmekle yükümlüdür. İşveren de kişisel koruyucu ekipmanları, ilgili yönetmelikte belirtildiği esaslara uygun olarak çalışanlara sunmak, kullanımlarını uygulamalı olarak bilgilendirmek zorundadır (Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik, 2013). Fakat buna rağmen, işverenler ve çalışanlar tarafından ilgili zorunlulukların ihmal edilebildiği göz önüne alınmalıdır. Çalışma kapsamında bu ihmal yalnızca solunum koruyucu donanımları için ele alınmıştır. Örneğin, baretlerin madenlerde kullanımı en az ihmal edilen koruyuculardan olduğunu düşünmek mümkündür. Çünkü, çalışanlar yeraltında sıklıkla başlarını tahkimatlara ya da maden duvarlarına çarparlar ve sıklıkla parça düşmelerine şahit olurlar. Diğer bir deyişle, bu ilgili donanımı kullanma zorunluluğuna uygulamalı olarak hakimdirler ve bu sebeple baret kullanımını ihmal etmezler. Solunum koruyucular ise çalışanlar için gereksiz kabul edilebildiği uzmanlarca verilen ifadeler ve madende yapılan gözlemler sonucu anlaşılmaktadır. Çalışanların, özellikle emek-yoğun faaliyet gösterirken, maskenin çalışma konforunu ve verimlerini azalttığını düşünmeleri ile bu kural ihlalinin sıklıkla yapılabildiği anlaşılmıştır. Maskenin kullanım gerekliliğinin çalışanlarca zorunlu kabul edilmemesi, solunum koruyucu maskelerin, baret gibi anlık değil, uzun vadede koruma sağlamasına ve bu yararın kısa vadede anlaşılamamasına bağlanabilir.

Çalışmadaki istenmeyen olayların ve nedenlerinin belirlenmesindeki diğer varsayım ise işletmede maden çıkarımları boyunca meydana gelen kazaların, yeraltı madeninin üretime başlamadan önceki yapım ve hazırlık aşamalarından kaynaklanmadığının

kabul edilmesidir. Galerilerin ve kuyuların yapım aşamaları, havalandırma sistemleri ve kafes düzeneği ile ilgili kurulum aşamalarında yapılması gerekenlerin, yönetmelikte belirtildiği hususlara uygun olarak yapıldığı varsayılmıştır. Dolayısıyla, çalışma kapsamında belirlenen olaylara yönelik havalandırma sistemi, kuyu ve galeri açılması gibi büyük hazırlık aşamaları ihmal edilmiştir**.** Belirlenmiş istenmeyen olaylar, yönetmeliklere uygun bir şekilde kurulumu sağlanmış bir işletmede, kurulum aşamasındaki olası uygunsuzluklardan bağımsız, yalnızca faaliyetleri süresince meydana gelebilecek kazaları kapsamıştır. Kuyularla ilgili talimatlar ve galeri açılmasında önemli olan galerinin eğimi, minimum yüksekliği ve genişliği gibi tüm teknik bilgiler ilgili yönetmelikler ile belirlenmiştir (Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, 2013). Örneğin kuyulardaki, insan taşımasında kullanılan kafes kapıları için; dışarı açılmayacak, kafes dışına bir şey taşmayacak, kendiliğinden açılmayacak ve kilit tertibatları dış tarafta olacak şekilde yapılmalı (Yeraltı ve Yerüstü Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Rehberi, 2011) talimatlarına uyulduğu varsayılmış, bu uygulamanın dışında kalmaktan doğabilecek kazalar çalışmaya dahil edilmemiştir. Havalandırma konusunda da madenin çıkarım için hazırlık aşamasında, galeri ve kuyu açılmaları sırasında yeterli sistemlerin oluşturulduğu varsayılmıştır. Krom madenlerinin, kömür madenleri gibi karbonmonoksit zehirlenmesi riskinin çok yüksek olduğu madenlerden farklı olarak, çok daha güvenli olmasının da etkisiyle karbonmonoksit zehirlenmesi çalışmaya dahil edilmemiştir. Nakliye işlemlerinde kullanılan motorlu araçların karbonmonoksit salınımlarının araçlara eklenen sistemlerle absorbe edildiği varsayılmıştır. Benzer şekilde çalışma uzmanlarının, mesleki deneyimleri süresince doğal afetler sebepli meydana gelmiş herhangi bir olaya şahit olmamaları da referans alınarak, faaliyetler sırasında deprem, su baskını gibi doğal felaketlerin yaşanması da çalışmaya dahil edilmemiştir.

Çalışma kapsamının belirlenmesinde, uzmanların deneyimlerine ve görüşleri ile risk tutumlarına ve faaliyet gösterdikleri firmanın işleyişine bağlı kalınmıştır. Dolayısıyla doğal afetler, havalandırma, galeri, kuyu ve kafesin yapım aşamasındaki sorunlardan ve eksikliklerden kaynaklanabilecek kazalar çalışmaya dahil edilmemiştir.

5.2.5 Bayes ağ yapısının oluşturulması

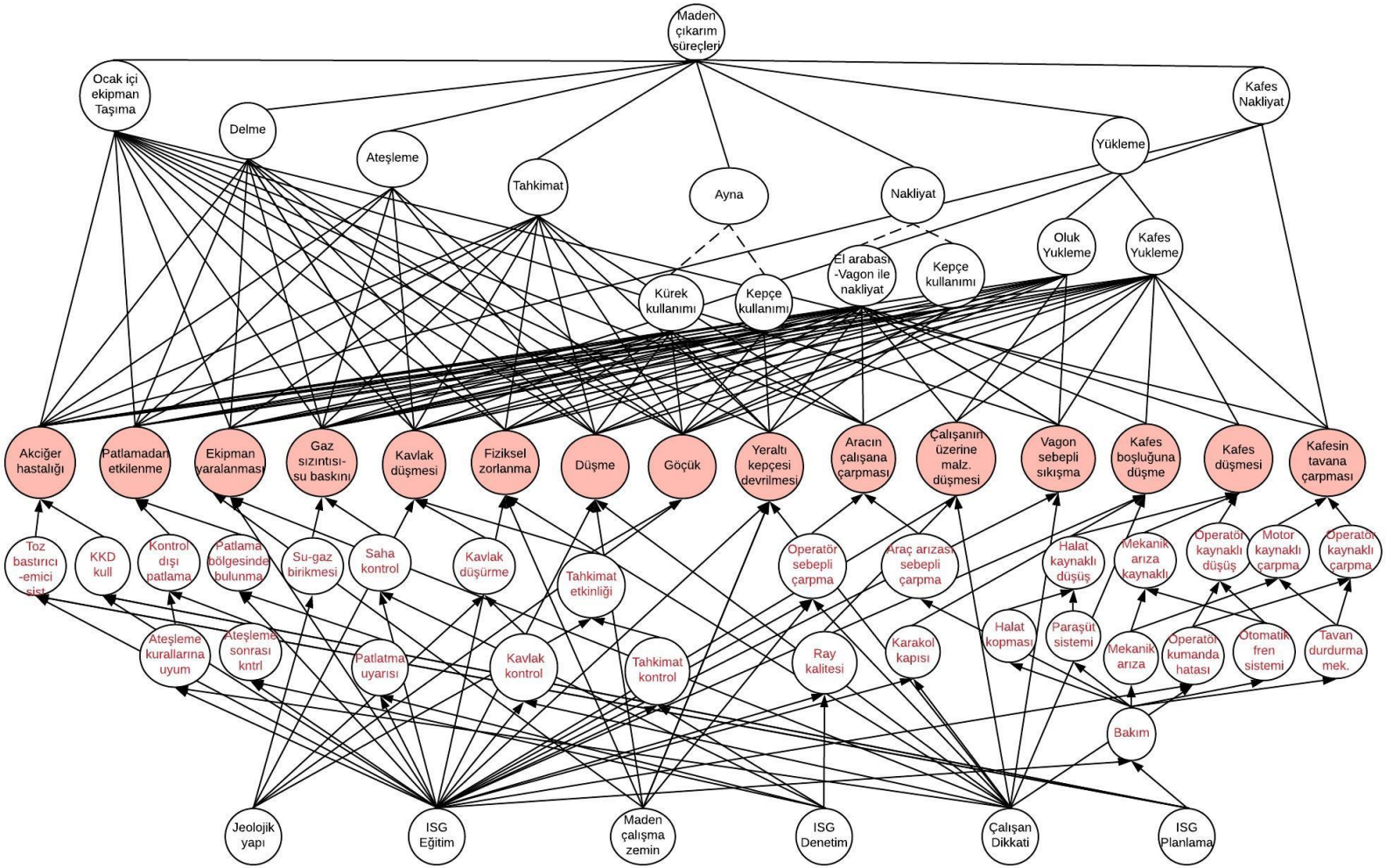
Çalışma kapsamında ele alınan olayların risk analizlerinin yapılabilmesi için, riski oluşturan unsurların belirlenmesi ve kapsamlı değerlendirilmesi gerekmektedir. Hata

Ağacı Analizi ile Bayes Ağları Analizi belli bir aşamaya kadar ortak bir yapı kullandığı için Bayes ağı yapılandırılması öncesinde hata ağaçlarının grafiksel sunumundan yararlanılmıştır. Süreçler sırasında meydana gelen istenmeyen olaylar, hata ağaçlarıyla üst olay olarak incelenmiş ve her birinin nedensel tanımlamaları, grafiksel olarak oluşturulmuştur. Bayes ağı yapılandırması için bu grafiksel çözümlemeler kullanılacak ve tüm ağaçlar tek bir ağa aktarılacaktır. Bu süreç, çalışma kapsamında oluşturulan çok sayıdaki hata ağacının Bayes ağına dönüştürülmesidir.

Bayes ağının yapılandırılmasındaki ilk adım, ağ içindeki tüm değişkenlerin durumsal parametreleri ile birlikte belirlenmesidir. Oluşturulan hata ağaçlarının her birinde, üst olay olarak ifade edilen iş güvenliği ile ilişkili istenmeyen olaylar ayrı ayrı ele alınmıştır. Hata ağacı nedensel çözümlemesi, üst olayın gerçekleşmesine neden olabilecek tüm olay bileşimlerini sunduğu için içinde olay tekrarları vardır. Ayrıca her bir üst olay tek bir ağaç olarak ele alındığından, bu ağaçların tamamı birleştirildiğinde, diğer bir deyişle olayların hepsi bir arada ele alındığında bazı olaylar için çoklu tekrarlar olacaktır. Bu sebeple, hata ağaçlarında yer alan değişkenlerin Bayes ağı içinde yer alacağı konumuna ve ilişkili oldukları olaylara dikkat edilmelidir.

Çalışma kapsamında oluşturulan metodolojiye göre, çoklu üst olayların bir arada ele alınması sebebiyle tüm hata ağaçlarının tek bir Bayes ağında incelenebilmesi hedeflenmiştir. Oluşturulan hata ağaçlarından yararlanılarak her bir kaza türü için detaylı incelemelerle ortaya çıkarılmış olan etkin değişkenler, aralarındaki nedensel ilişkileri ve dahil oldukları maden süreçlerini yansıtır biçimde Bayes ağına yansıtılacaktır. Olayların Bayes Ağları Analizi ile ele alınmalarını sağlayacak nedensel oluşumları ile bu olayların işletmenin hangi faaliyetlerinden dolayı ortaya çıktığını gösteren hiyerarşik yapı ile birlikte sunulması planlanmıştır. Böylelikle, meydana gelen ya da gelebilecek iş kazası niteliğindeki tüm istenmeyen olaylar için, ağ çok önemli niteliksel bilgiler sunacaktır.

İşletme faaliyetlerinin hiyerarşik yapısı ile bütünleştirilmiş, iş kazalarını gösterir Bayes ağı Şekil 5.27'deki gibi oluşturulur. Böylelikle işletmenin hangi faaliyetlerinden dolayı hangi olayların ortaya çıktığı ve temelde hangi kök nedenlerin hangi olaylar aracılığıyla işletmenin hangi süreçlerini etkilediğine kadar pek çok bilgi sunan süreçlerin hiyerarşik yapısı ile bütünleşik olarak sunulmuş bir Bayes ağı elde edilmiştir.



Şekil 5.27 : Maden süreçleriyle bütünleşik istenmeyen olayları gösterir Bayes ağı.

Ağ içindeki kırmızı yuvarlaklarla belirtilen düğümler Bayes ağında ele alınan üst olaylar olup, bu düğümlerin altındaki tüm düğümler üst olaylarla ilişkili değişkenleri göstermektedir. Oksuz ve kesintisiz çizgi ile gösterilen ilişkiler, faaliyetler ve faaliyetler kapsamında meydana gelebilen olayları gösterirken, kesikli çizgilerle gösterilen bağlantılar da faaliyetin gerçekleştirilmesinde kullanılan ekipmanları göstermektedir. Çizelge 5.3'te risk analizinin parametrelerini oluşturan Bayes ağı değişkenleri, farklı durumsal parametreleri ve özet ifadeleri ile birlikte sunulmuştur.

Pearl (2000)'nin de belirttiği gibi, henüz gerçekleştirilmemiş eylemlerin nedenlerini ve sonuçlarını tahmin ederek, bir sistemi derinlemesine anlamaya ve sistemin farklı durumları hakkında potansiyel bir denetim sağlamaya yönelik bir ağ elde edilmiştir. Üst olay olarak tanımlanmış kazaların nedenleri ve nedenlerin de nedenlerine kadar istenilen derinlikte sorgulamalar sağlanmış ve kök nedenler olarak belirlenen 6 temel unsur olay derinliklerinin sorgulanan son noktası olmuştur. Hangi kaza analizinde olursa olsun, kök nedenler çalışmanın en önemli bulgularından kabul edilir.

5.2.6 İstenmeyen olayların yaşanmasındaki kök nedenler

Yeraltı krom madeni süreçleri boyunca meydana gelen ya da gelme ihtimali bulunan kazalara dair nedensel incelemeler yapılmış ve istenmeyen olayların temel nedenleri, "jeolojik yapı, İSG eğitim, çalışılan zemin, İSG denetim, çalışan dikkatsizliği ve İSG planlama" olarak belirlenmiştir. Literatürde süreçler altında bu kazaları ele alan daha önce yapılmış bir çalışmaya rastlanmamış ve yeraltı madenlerinde yaşanan mesleki İSG ilişkili temel nedenler ayrıntılı anlatılmaya çalışılmıştır.

5.2.6.1 Jeolojik yapı

Madenler, doğası gereği çoğunlukla kırıklı-faylı bölgelerde faaliyet göstermektedir. İçinde bulunulan ve çalışan bölgedeki kayacın sert-sağlam olması, çatı çökmesi ya da kavlak düşmesi gibi birtakım tehlikeleri bertaraf ederken, kayacın faylı-kırıklı yapıya sahip olması da bu tür kazaların olmasına yol açmaktadır. Kömür madenleri, krom madenlerine göre çok daha yumuşak kayaçlar içerisinde yer aldığı için çatı çökmesi olaylarına, krom madenlerinden çok daha fazla maruz kalırlar. Dolayısıyla krom madeni, maden türü olarak kömür madenine göre jeolojik olarak daha korunaklı kayaçlar içerisinde bulunur. Krom madenlerinde sert-sağlam kayaçlarda kimi zaman tahkimat sağlanmasına bile gerek kalmayabilmektedir.

Çizelge 5.3 : Bayes ağı değişkenleri.

Düğüm-Değişken	Durum	Tanım
Jeolojik yapı	Sağlam; Kırıklı	Maden kayacının sert ya da kırıklı olması
İSG Eğitim	Yeterli; Yetersiz	Çalışanın İSG eğitimlerine yeterli düzeyde hakim olup olmadığı
İSG Denetim	Yeterli; Yetersiz	İSG denetimlerinin yeterli düzeyde yapılıp yapılmadığı
İSG Planlama	Yeterli; Yetersiz	İSG ile ilişkili planlamaların yeterli ya da yetersiz olması
Maden çalışma zemini	Düzgün; Engebeli	Madende çalışılan zeminin çalışma şartlarına uygun olması ya da olmaması
Çalışan dikkati	Yeterli; Yetersiz	Çalışanın gerçekleştirdiği faaliyet üzerinde yeterli düzeyde anlık dikkatinin olması ya da olmaması
Ateşleme kurallarına uyum	Evet; Hayır	Ateşleyicinin ateşleme kurallarına uyması ya da uymaması
Ateşleme sonrası kontrol	Yeterli; Yetersiz	Ateşleme sonrası kontrolün yeterli düzeyde yapılıp yapılmaması
Kontrol dışı patlama	Evet; Hayır	Kontrol dışı patlama olup olmaması
Patlatma uyarısı	Yeterli; Yetersiz	Ateşleme öncesi patlama uyarısının yapılıp yapılmaması
Patlama bölgesinde bulunma	Evet; Hayır	Çalışanın ateşleme süresince patlama bölgesinde bulunup bulunmaması
Patlatmaya maruz kalma	Evet; Hayır	Çalışanın patlatmaya maruz kalması ya da kalmaması
Toz bastırıcı-emici sistem	Evet; Hayır	Gerçekleştirilen faaliyet sırasında ortaya çıkan tozun bastırılması ya da emilmesinin sağlanıp sağlanmaması
KKD kullanımı	Evet; Hayır	Çalışanın kişisel koruyucu donanım kullanıp kullanmaması
Akciğer hastalığı	Evet; Hayır	Çalışanın akciğer hastalığına yakalanıp yakalanmaması
Su-gaz birikmesi	Evet; Hayır	Çalışılan bölgenin arkasında birikmiş gaz ya da suyun olup olmaması
Saha kontrolü	Yeterli; Yetersiz	İlerlenen bölge için birikmiş su-gaz olabileceğinin araştırılması
Gaz sızıntısı -su baskını	Evet; Hayır	İlerleme yapılan bölgede gaz sızıntısı ya da su baskını olması ya da olmaması
Ekipman yaralanması	Evet; Hayır	Çalışanın ekipman sebepli yaralanması ya da yaralanmaması
Kavlak düşürme	Yeterli; Yetersiz	Kavlak düşürme işleminin yeterli ya da yetersiz yapılması
Kavlak kontrol	Yeterli; Yetersiz	Kavlak düşürme işlemi için kontrolün yeterli yapılıp yapılmaması
Kavlak düşmesi	Evet; Hayır	Çalışanın üzerine kavlak düşmesinin olması ya da olmaması
Fiziksel zorlanma	Evet; Hayır	Çalışanın faaliyet gösterdiği sırada fiziksel zorlanmanın olması ya da olmaması
Tahkimat kontrol	Yeterli; Yetersiz	Tahkimat kontrolün yeterli ya da yetersiz yapılması
Tahkimat etkinliği	Yeterli; Yetersiz	Tahkimat desteğinin etkin olması ya da olmaması
Göçük	Evet; Hayır	Çalışanın üzerine çatı düşmesinin olması ya da olmaması
Düşme	Evet; Hayır	Çalışanın faaliyet gösterirken düşmesi ya da düşmemesi
Yeraltı kepçesi devrilmesi	Evet; Hayır	Kepçenin faaliyet gösterirken operatörü ile birlikte devrilmesi ya da devrilmemesi
Aracın çalışana çarpması	Evet; Hayır	Vagon ve kepçenin faaliyet gösterirken başka bir çalışana çarpması
Ray kalitesi	Evet; Hayır	Vagon sürülen raylarda aşınma olması ya da olmaması
Vagoncu üzerine malz. düşmesi	Evet; Hayır	Vagon sürerken vagoncunun üzerine malzeme düşmesi ya da düşmemesi
Vagon sebepli sıkışma	Evet; Hayır	Çalışanın vagon sebepli sıkışması ya da sıkışmaması
Karakol kapısı	Açık; Kapalı	Kafes önündeki emniyet bariyerinin açık olmaması gereken zamanda açık olması ya da olmaması
Kafes boşluğuna düşme	Evet; Hayır	Vagonun ya da çalışanın kafes boşluğuna düşmesi ya da düşmemesi
Bakım	Yeterli; Yetersiz	Bakım faaliyetinin gerektiğince yapılması ya da yapılmaması
Halat kopması	Evet; Hayır	Kafesi taşıyan halatın kopması ya da kopmaması
Paraşüt sistemi	Çalışıyor; Çalışmıyor	Kafesin ani düşmesi sırasında devreye girerek düşmeyi durduran sistemin çalışıp çalışmaması
Halat kaynaklı düşüş	Evet; Hayır	Kafesin halat kopması sebepli düşmesi ya da düşmemesi
Otomatik fren sistemi	Çalışıyor; Çalışmıyor	Düşen kafesi durdurmak için otomatik devreye giren fren sisteminin çalışması ya da çalışmaması
Motor arızası	Evet; Hayır	Kafesi taşıyan vincin motorunun kafesi düşürecek şekilde arızalanması ya da arızalanmaması
Motor kaynaklı düşüş	Evet; Hayır	Vinç motor arızası sebepli kafes düşmesi ya da düşmemesi
Motor kaynaklı çarpma	Evet; Hayır	Vinç motor arızası sebepli kafesin vinç kuyusuna çarpması ya da çarpmaması
Operatör kumanda hatası	Evet; Hayır	Kafesi taşıyan vincin operatörünün kumanda hatası yapması ya da yapmaması
Operatör sebepli kafes kazası	Evet; Hayır	Vinç operatörü sebepli kafes kazası olması ya da olmaması
Kafes düşmesi	Evet; Hayır	Kafesin kafes boşluğuna düşmesi
Tavan durdurma mekanizması	Çalışıyor; Çalışmıyor	Yeryüzüne ihraç edilen kafesin bir sebepten dolayı durmaması durumunda tavana çarpmasını engelleyen tavan durdurma mekanizmasının çalışması ya da çalışmaması
Kafesin tavana çarpması	Evet; Hayır	Yeryüzüne ihraç edilen kafesin durmaması sebebiyle tavana (vinç kuyusuna) çarpması ya da çarpmaması

Madenin kırıklı bir kayaç yapısına sahip olması durumunda, yaşanan kavlak düşmelerinin ve tahkimat yıpranmalarının en önemli nedeni jeolojik yapı olmaktadır.

Jeolojik yapı ayrıca, kayaç içindeki boşluk bölgelerde su ya da gaz birikmelerine de neden olmaktadır. Yeraltında faaliyet gösterirken, ilerlenen bölgede su ya da gaz birikintisi olması, her zaman için tehlikeli bir durum ortaya çıkarır. Kök neden olarak belirlenen jeolojik yapı, yeraltı madenciliğinin, iş güvenliği açısından riskli bir sektör olmasının en temel nedenlerindendir. Ayrıca doğal bir faktör olması, bu değişkenin değiştirilmesi, geliştirilmesi ya da düzeltilmesini mümkün kılmamaktadır. İş güvenliğinin doğrudan bağlı olduğu etmenlerden olan jeolojik yapı, madenin faaliyet gösterdiği ana kayaç içinde ancak çalışılan bölge güzergahına bağlı olarak değişkenlik gösterecektir. Çalışma kapsamında jeolojik yapı değişkeni, sağlam ve kırıklı olmak üzere iki durumlu olarak ele alınmıştır.

5.2.6.2 İSG eğitimi

Çalışanın yaptığı işin gerektirdiği teorik ve pratik yetersizliği sebepli, yaşadığı iş kazalarının önüne geçmek için İSG eğitimi çok önemlidir. Sektöründen bağımsız olacak şekilde insan yönetimindeki süreçler içinde meydana gelen iş kazalarının pek çoğunun en büyük sebebinin eğitim eksikliği olduğunu düşünmek mümkündür. Bunun sebebi, kazaların yaşanmaması için oluşturulan teknik prosedürlere ve yönetmeliklere çalışanlar tarafından uyulmamasıdır. Sektörel faaliyetlere dair yönergelerin tüm maddelerinin, firmaların İSG eğitimleri kapsamında yer aldığı kabul edilir. Fakat, eğitim planları için sadece bu yönergelerin yeterli olmayacağını düşünülebilir. Bu sebeple, çalışanlara faaliyetlerin güvenli yapış şekilleri ile birlikte, hangi davranışsal ya da düşünsel hatanın hangi sonuçlara yol açacağının da görsel ve uygulamalı eğitimlerle verilmesi gerekir. Örneğin işçinin, işin yapılış şekli için yönergelerden farklı bir seçenek yaratması söz konusu olabilmektedir. Bu davranışının sebebi, yarattığı hatalı iş yapış seçeneğini kendisince güvenli, uygulaması daha kolay, pratik ya da konforlu olarak değerlendirmesidir. Montibeller ve Winterfeldt (2015) tarafından bu durum "istediği seçeneği seçme yanlısı olma” (desirability of options bias) olarak tanımlanır. Oysa çalışanı iş kazasına doğru sürükleyen bu hatalı yargısı eğitimlerle tespit edilip, düzeltilebilir. Teknik ve uygulamalı eğitimlerle, çalışanları hatalı davranışlardan koruyacak olan doğru güvenlik tutumlarının ve güvenlik bilgilerinin kazanılması sağlanabilir. Eğitimler, çalışanların iş kazası geçirmesine sebep olabilecek tehlikeli durumların, KKD kullanım gerekliklerinin ve yaşayabileceği tüm kazalara dair farkındalıkların oluşturulmasını sağlar (Mohammadfam ve diğ., 2017). Çalışma kapsamında ele alınan İSG eğitim unsuru,

kazaların yaşanmasında temel bir neden olarak kabul edilmiştir. Çalışanların iş kazası yaşaması konusunda güvenli ve güvenli olmayan davranış arasındaki farkı bilmesini ve değişken durumlar altında dahi hareket ve tutumunu bu bilgiye göre belirleyebilmesini destekleyen durumlar için, çalışanlara yeterli düzeyde İSG eğitiminin verildiği kabul edilmiştir. Eğitim konusundaki yeterli-yetersizlik durumunun çalışanın sorumluluğunda değil, işverenin sorumluluğu altında olduğu kabul edilmiştir. Dolayısıyla kurallara uymadığı için iş kazası yaşayan bir çalışan için, kazanın yaşanmasındaki temel sorun, çalışan hatası değil, çalışana verilen İSG eğitiminin yetersizliği olarak düşünülür. Bu yüzden çalışmada, İSG eğitim kök neden olarak yer almış ve değişken durumu yeterli ve yetersiz olarak ele alınmıştır.

5.2.6.3 Çalışma zemini

Madenler doğası gereği zorlu çalışma şartlarına sahiptir. Çalışılan bölgeler genellikle sulu ve çamurlu olup, en önemlisi de zeminleri düzgün değildir. Ortamın karanlığı da eklenince bunca olumsuz koşulun bir de çalışan tarafından görülememesi ve fark edilememesi söz konusudur. Dolayısıyla çalışanlar için ne olursa olsun, zemindeki olumsuzluklar yadsınamayacak boyutlarda olabilmektedir. Çalışanlar, en ufak bir dikkatsizlikleri ya da prosedüre uygun davranmamaları halinde dengelerini kolaylıkla kaybedebilmektedirler. Ayakta kalabilmenin bile zor olabildiği durumlarda zorlu maden faaliyetleri göstermeye çalışmak, çok çeşitli yaralanmalara sebep olabilmektedir. Madende yapılan gözlemler ve uzmanlarla yapılan görüşmeler sonrasında, bu kök nedenin, yeraltı madeninin ana yolları hariç tüm noktalarında çalışanlar için zorlu bir koşul sunduğu anlaşılmıştır. Çalışılan zeminin, çalışılan bölgelere göre çok farklı özellikler gösterdiği hangi iş yapılırsa yapılsın, tüm çalışanların çalışma zeminindeki olumsuz koşullar sebebiyle öncelikle dengelerini sağlamaya çalıştıkları gözlenmiştir. Bu sebeple çalışılan zeminin düzgün-bozuk olmak üzere iki durum altında ele alınmasına karar verilmiştir.

5.2.6.4 İSG denetim

Yeraltı krom madeni çalışanlarının yaşadığı iş kazalarının, çoğunlukla süregelen ya da çok tekrarlı faaliyetler sırasında meydana geldiği gözlenmiştir. Herhangi bir ihmal sebepli ortaya çıkan her kazanın denetleme koşullarının geliştirilmesi ile önlenebileceğini düşünmek mümkündür. Fakat yeraltında rutin olarak sürdürülen tüm faaliyetlerin, tamamıyla denetlenmesi beklenemez. İSG denetlemelerinin, tahkimatın

kontrolünde, taşımanın yapıldığı rayların kontrolünde ve ateşleme ile ilgili süreçlerde etkin rol aldığı belirlenmiştir. Denetleme yapılmasının, en azından mümkün olan unsurlar için kazaları önlemede önemli bir unsur olduğu düşünülmüştür. Çalışanların sıklıkla yaşadığı düşme, ekipmanla yaralanma ya da fiziksel zorlanma gibi iş kazalarında İSG denetleme unsurunun etken bir kök neden olmadığı, bu kazaların denetleme sıklığıyla yakından ilişkili olmadığı kabul edilmiştir. Çünkü denetleme belirli bir süre zarfında yapılırken, çalışanlar faaliyetlerini, çalışmada ele alınan kaza riskleri ile birlikte mesaileri boyunca sürdürmektedirler. Bu yüzden İSG denetleme kök nedeni belirli unsurlar için etkili bir değişken olarak kabul edilmiş olup, yeterli ve yetersiz olarak iki durum değişkeni halinde ele alınmıştır.

5.2.6.5 Çalışan dikkati

İncelenen yeraltı krom madeni faaliyetlerinin büyük bir kısmı emek-yoğun yürütülmektedir. Zorlu faaliyetler süresince, zemin koşullarının olumsuzluğu, jeolojik yapının hassaslığı, ekipmanların yetersizliği ya da denetim eksiklikleri gibi çeşitli nedenlerden dolayı istenmeyen olaylar meydana gelmektedir. Fakat bu nedenlerden bağımsız olarak, kazaların kısmen insan hatalarına bağlı olduğu ya da tamamen insan hataları kaynaklı olduğu da gözlenmiştir. Kazanın yaşanmaması için planlama, denetim, jeolojik şartlar vb. ile ilgili tüm olumsuz ön koşullar ortadan kalksa bile, çalışanın iş kazası yaşamasına sebep olacak bir hata yapması mümkündür. Güvenli olmayan davranışlar sebepli olan insan hataları, çoğunlukla çalışanın hatalı tutumu olarak yorumlanır. Bu çalışmada, yeterli eğitimle düzeltilebilecek hatalar İSG eğitim kök nedenine bağlanmışken, düzeltilmesi ya da değiştirilmesi için müdahale etmenin kolay olmadığı nedenlere bağlı hatalar da dikkat unsuruna bağlı olarak ele alınmıştır. Bu tür hataların kaynağı, anlık dikkatsizlik olarak tanımlanmıştır. Çünkü, insan sorumlu olduğu bir performansı her ne kadar hatasız gerçekleştirmek istese de hatalar yine de olacaktır ve bu kaçınılmaz bir durumdur (Komljenovic ve diğ., 2017). Horberry ve diğ. (2016)'nin çalışmalarında belirttiği üzere, ortam sıcaklığının normal koşulların altında olduğu çalışma alanlarında vücudun vereceği fizyolojik tepkiler, zihinsel farkındalığın azaltılması, karar verme yeteneğinde azalma, zayıf kas koordinasyonu veya ölümcül sonuçlara yol açabilecek bilinç kayıplarının yaşanması olasıdır. Bu koşullarda çalışanların, dikkat düzeylerinin her zaman tam anlamıyla yüksek olması beklenemez, beklenmemelidir. Uzmanlarla yapılan görüşmeler ve çalışanlarla yapılan görüşmelerle de doğrulanması sonrasında, çalışan dikkatsizliği

unsuru, kişinin bir nevi anlık bilinçsizliği sebepli farkında olmadığı ve kaçınamadığı hatalı davranışı olarak tanımlanmıştır. Çalışanın rutin olarak yerine getirdiği bir faaliyet sırasında yapacağı ve iş kazasına neden olacak güvenli olmayan bir davranışın nedenlerinden birinin çalışan dikkat olması gerektiği düşünülmüştür. Çalışan dikkatindeki anlık eksiklik sebepli yapılan hatalı bir davranışın, literatürdeki Fleming ve Lardner (2002) ve Mohammadfam ve diğ. (2017) gibi yazarlardan farklı olarak, güvenlik bilgisi, organizasyon kültürü, güvenlik ortamı ve yönetimsel unsurlardan bağımsız olduğu düşünülmüş ve kişilerin hatalı davranışta bulunmasında rol oynayan yönetimle ilişkili faktörler İSG eğitim faktörleri altında ele alınmıştır. Anlık dikkat kaybetme sebepli var olan çalışan dikkati kök nedeninin çalışanın, kazanın yaşanmaması için planlama, denetim, jeolojik şartlar vb. ile ilgili tüm olumsuz ön koşullar ortadan kalksa bile, yine de hata yapmasına neden olabileceğine inanılır. Çünkü insanın çok sık yaptığı işlerde dikkatini kaybetmesinin olağan olduğu kabul edilebilir. Her türlü olumlu koşullar altında dahi gerçekleşebilen dikkatsizlik halinin kök nedenlerine ulaşmak, hata yapmayan mükemmel insan sorgulamasına yönelmeyi gerektirebilir. Çünkü bir çalışan hangi işi yaparsa yapsın, yaptığı işin zorlu ve tekrarlı olması durumunda, yapmaması gerektiğini çok iyi bildiği ya da asla yapmayacağı güvenli olmayan eylemi yine de yapabilmektedir. Sıfır hata felsefesi ile üretim yapılan fabrikalarda, çalışanların bir anlık dikkatsizlikle yapacağı hataları engellemek için, özel düzenekler geliştirilmekte ve hataların yapılmasına yönelik ihtimaller ortadan kaldırılmaktadır. Fakat bunu yeraltı maden işletmelerinde ya da inşaat sektörü gibi benzer tehlikedeki çalışma alanlarında yapmak mümkün olmayabilir. Dolayısıyla süreçlerin güvenli bir şekilde yürütülmesinin, çok büyük çoğunlukla çalışanların dikkatine bağlı olduğu da kabul edilmek zorundadır. Örneğin, yemek saatlerinin olduğu çalışma saat dilimlerinde, konsantrasyonun düşmesi, dikkat eksikliği görülmesi ve yaralanmaya daha fazla meyilli olunması kabul edilen bir durumdur. Bunun dışında, çalışanla ilgili yaş, deneyim, çalışma sözleşmesi, günün saati, deneyim, çalışılan yer, psikolojik durumu gibi etkenlerin de çalışanın dikkat durumunda değişkenliğe sebep olacağı literatürde belirtilir (Sanmiquel ve diğ., 2015). Bu sebeple çalışmada, çalışan dikkatsizliği "kontrol edilemeyen çalışan dikkati" olarak kabul edilmiş ve araştırmaya “çalışan dikkati” kök nedeni ile dahil edilmiştir. Ve bu nedenin her çalışan için, farklı koşullar altında sıklıkla değişkenlik gösterebileceği beklenir. Bu yüzden bu kök neden de eğitim ve denetim faktörü gibi, yeterli ve yetersiz olarak iki durum altında ele alınır.

5.2.6.6 İSG planlama

Çalışmada, işletmede İSG ile ilişkili ekipmanların sağlanması ve bakım yönetiminin profesyonelliği konuları, firmanın İSG konusundaki planlama davranışına bağlı kabul edilmiştir. Dolayısıyla İSG planlama kök nedeninin, çalışanların değil, yönetimin güvenlik tutumunu yansıttığı kabul edilir. Firma üst yönetimi, firmaya ekipman sağlanması ve bakım planlama periyotlarının belirlenmesinden sorumludur. Faaliyetlerin çalışanlar için daha güvenli sürdürülmesini sağlayacak olan koruyucu ekipmanların ve faaliyetleri çalışanlara daha az zarar verecek şekilde düzenleyebilecek sistemlerin sağlanması bu kök neden kapsamında ele alınmıştır. İşletmenin güvenlik kültürünü yansıtan bu kök neden, firmanın yönetimsel ve uzun vadeli güvenlik yaklaşımını ve İSG ile ilişkili unsurlara ayrılan bütçeyi de yansıttığı için, çalışanların herhangi bir istenmeyen olayla karşılaşmasını doğrudan engelleyen önemli stratejik önlemler sunmaktadır. İSG planlama unsurunun, çalışma kapsamında ele alınan risk analizi için yeterli-yetersiz olarak iki farklı durumsal parametreye sahip olduğu kabul edilmiştir.

5.2.7 Ağın doğrulanması

Yeraltı madeni süreçlerinin belirlenmesi, bu süreçler içinde meydana geldiğinde çalışanlara zarar verme ihtimali bulunan istenmeyen olayların tanımlanması ve kapsamlı nedensel sorgulamalar ile istenmeyen olayların süreçlerle bütünleşik nedensel ilişkilerini gösterir Bayes ağı oluşturulmuştur. Nitel belirlemelerin gerçekleştirilmesi, firma çalışanlarından oluşan 3 kişilik bir uzman ekip ile her biri 2 saat süren 7 oturumla gerçekleştirilmiştir.

Bayes ağının doğrulanması için, oluşturulan ağ maden mühendisliği alanındaki 3 akademisyen ve firmanın farklı tesislerinde görev yapan iki maden mühendisi tarafından kontrol edilmiştir. Doğrulama aşamasında, maden içindeki taşıma faaliyetleri için nakliyat teriminin kullanılması gerektiği, dahil edilmeyen süreçler ve kazalar konularında terimsel ve teknik öneriler sunulmuştur. Öneriler çalışma uzmanlarına yöneltilmiş ve onların da değerlendirmeleri ile verilen şekillerini almışlardır.

Verilere dayandırılmadan yalnızca uzman görüşleriyle oluşturulmuş çalışma kapsamındaki Bayes ağında, tüm değişkenlerin ve aralarındaki ilişkilerin gerçek durumu yansıtması son derece önemlidir. Böylelikle, zorlu ve yorucu kısım olan ağın

nitel sunumunu oluşturan temel yapılandırma aşaması için yararlanılan uzmanlardan farklı uzmanlarca ağın yapısal kontrolünün sağlanması ile yapısal doğrulama gerçekleştirilmiş ve çalışmanın güvenilirliği sağlanmaya çalışılmıştır.

5.2.8 Ağa risk kontrol seçeneklerinin dahil edilmesi

Çalışmada bir yeraltı maden işletmesinin mevcut durumu kapsamında, çalışanlar açısından güvenlik riski yaratan tüm istenmeyen olaylar, bağlı oldukları süreçler altında incelenmiş ve nedenlerinin ortaya çıkması sağlanmıştır. Faaliyetler kapsamında meydana gelen tüm olaylar birbiri ile ilişkilendirilmiş ve tek bir Bayes ağı oluşturulmuştur.

Bayes ağları ile yapılan çalışmalarda analizi yalnızca belirlenen olaylarla sınırlı tutmamak mümkündür. Kurulu Bayes ağına dışsal müdahale uygulayarak, müdahale unsurunun ağa yansıması incelenebilir. Buna dayanarak, çalışmada faaliyetlerde kullanılan teknolojik ekipmanlara yönelik müdahale yapılması planlanmıştır. Kontrollü deneylerle olmasa da uzman yargıları ile, yeraltı maden faaliyetlerinin farklı teknolojik ekipmanlarla sürdürülmesi durumunda ortaya çıkacak farklı istenmeyen olaylar ve nedensel ilişkilerinin belirlenmesine yönelik sorgulama yapılmasına karar verilmiştir. Böylelikle çoğu faaliyetin emek-yoğun sürdürüldüğü yeraltı krom madeni süreçlerinin, farklı teknoloji seviyelerindeki ekipmanlar kullanılarak sürdürülmesi durumundaki güvenlik riskleri araştırılabilecektir.

Teknoloji, değişimi etkileyen en önemli güçlerden biridir ve 16. yüzyıl itibariyle görülen önemli teknolojik inovasyonlar madenciliğin sürdürülebilirliği konusunda hayati gelişmelere öncü olmuştur (Suppen ve diğ., 2006). Yüksek teknolojinin madencilik faaliyetlerinde kullanım aşamaları mekanizasyon, uzaktan kumandalı sistemler, otomasyon ve robotlaşma şeklindedir (Kızıl ve diğ., 1995). Özellikle otomasyon teknolojileri, madencilikte oldukça dikkat çekici bir araştırma ve geliştirme alanıdır ve cihazların insan müdahalesi olmadan operasyonları sürdürebilmesini sağlar. Operatörleri tehlikeli durumlardan uzaklaştırarak, hassasiyeti artırır (delme işlemi), daha önce insanlar tarafından erişilemeyen alanlarda madenciliğe izin verir ve daha güvenli bir çalışma ortamı sunar (Boudreau- Trudel ve diğ., 2014). Madencilikte otomasyon, üretimi ve güvenliği eş zamanlı olarak arttırmanın tek yolu olarak görülmektedir. Yüksek riskli operasyonlardan ve istenmeyen çalışma koşullarından, insanların uzak tutulmasını sağlar (Ghodrati ve diğ., 2015). Buna rağmen, teknolojik

inovasyonlar içeren yeni ürünlerin madencilikte meydana gelen yaralanma sıklıklarını doğrudan azalttığı da söylenememektedir (Boudreau- Trudel ve diğ., 2014). Teknolojinin her bir seviyesinin, maden operasyonlarının verimlilik, güvenlik, etkinlik ve sosyal unsurlarına olan yansımalarının değişken olduğunu düşünmek mümkündür.

Ülkemiz madencilik sektörünün faaliyetleri çoğunlukla küçük ölçekli işletmelerce ve emek yoğun faaliyetlerle sürdürülmektedir (Eskikaya ve Aydıner, 2003). Bu sebeple, ülkemiz maden yüksek teknoloji kullanımından yeterince yararlanamamaktadır. İleri teknolojiden yoksun sürdürülen yeraltı maden faaliyetlerinin taşıdığı kaza risklerinin, teknoloji kullanımının sağlanabilmesi halinde ortaya çıkacak olan güvenlik riski farklılığının göz önüne çıkartılması önemli bir araştırma konusudur. Böylelikle, teknolojik yatırımların önemine yönelik farkındalık ve motivasyon düzeyi artabilir.

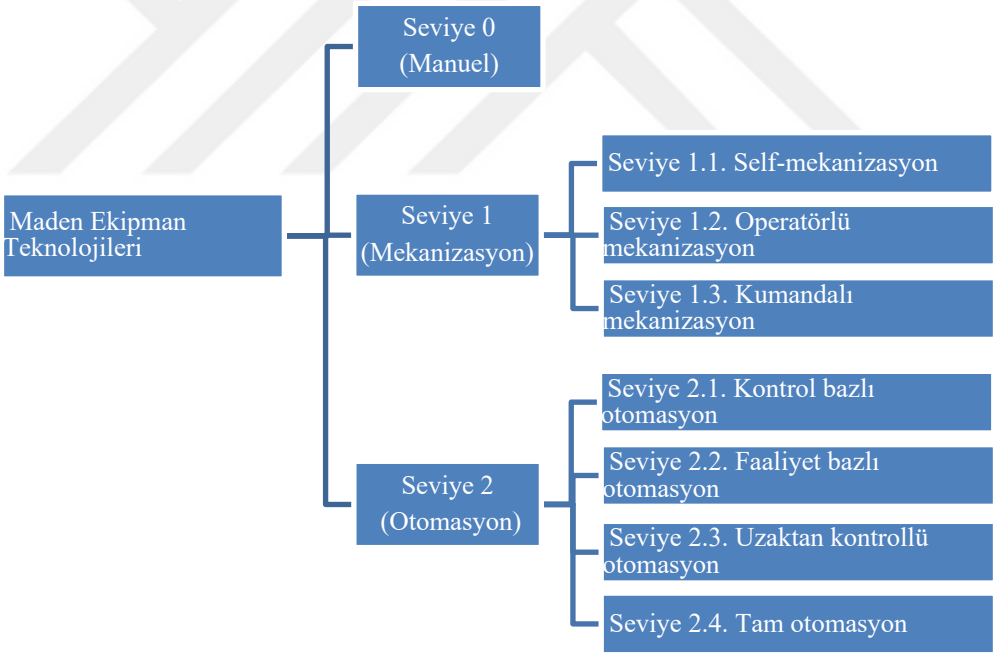
Literatürde maden ekipmanlarının sahip olduğu teknolojiler tam bir fikir birliği altında olmamakla birlikte, çeşitli şekillerde sınıflandırılmıştır. Boudreau-Trudel ve diğ. (2014), Güney Amerika'da bulunan bir yeraltı altın madeninin eski ve yeni ekipmanlarla yaşanmış kazaların sıklıklarını karşılaştırdığı çalışmasında, maden ekipmanlarının tanımlanmasında "yarı otomasyon, otomasyonsuz ve uzaktan kumandalı sistem" tanımlamalarını kullanmıştır. Lynas ve Horberry (2011) otomatikleştirilmiş maden ekipmanlarının insan faktörlerine olan etkisini araştırdığı çalışmasında, Horberry ve diğ. (2016) de maden ekipmanları ile ilişkili konuları insan faktörleri açısından ele aldıkları kitaplarında maden ekipmanları otomasyonlarını, "düşük seviye otomasyon, orta seviye otomasyon ve tam otomasyon" olarak derecelendirmiştir. Ghodrati ve diğ. (2015) ise, maden ekipmanlarının sahip olduğu teknoloji türlerini "uzaktan kumanda, tele operasyon, yarı otomasyon ve tam otomasyon" başlıkları altında ele almıştır.

Horberry ve diğ. (2016), ekipmanların insan odaklı tasarımı (human-centered design) teması ile ele aldıkları çalışmalarında, yeni teknolojik ekipmanların kullanıcı tarafından güvenli, etkili, kabul edilebilir ve kullanışlı tasarlanması gerekliliğinden bahsetmiştir. Dolayısıyla ekipman ya da sistemin, dahil olacağı faaliyet ve kullanıcısı düşünülerek, yerinde yapılacak analizler ve belirlemelerden sonra tasarlanması gerekir. Ekipman inovasyonunun faaliyete ve kullanıcısına güvenlikle ilişkili yansımalarının belirlenmesi yerinde bir karardır. Yeraltı maden süreçleri dahilinde meydana gelen istenmeyen olayların, ekipmanlarla ilişkili unsurlarının incelenmesi önemli bir çalışma konusudur. Bu yüzden, literatürde de henüz yer almamış olan,

yeraltı metal madeni süreçlerinde kullanılan ve kullanılabilecek olan ekipmanların teknolojik seviyelerine göre değerlendirilmesine karar verilmiştir. Kullanılan teknolojik ekipmanların süreçlere olan kapsamlı yansımalarına göre değerlendirilebilmeleri, maden süreçlerinin daha güvenli yürütülmesini ve emeklerinse daha efektif sürdürülmesini sağlayabilecektir. Ayrıca, kazaların ve nedenlerinin ekipman kullanımı ile ilişkilendirilmesi ile ortaya çıkan tüm bulgular, gerekli teknolojik inovasyon noktalarının belirlenmesine de ışık tutabilecektir.

5.2.8.1 Maden ekipmanları teknoloji sınıflandırması

Çalışmada, hem ülkemiz yeraltı madenciliğindeki mevcut durumu yansıtmak hem de gelişmiş teknolojilerin ülkemiz yeraltı madenciliğine, ele alınan maden işletmesi üzerinden olası yansımalarının araştırılması hedeflenmiştir. Buna bağlı olarak, çalışma kapsamında maden ekipmanları sahip oldukları teknoloji seviyelerine göre, Şekil 5.28'de görüldüğü gibi 3 farklı başlık altında sınıflandırılmıştır:



Şekil 5.28 : Maden ekipman teknolojisi seviyelendirilmesi.

Teknoloji Seviye 0 (Manuel): Faaliyetlerin manuel ve emek yoğun sürdürülmesine neden olan ekipmanlar bu teknoloji seviyesine dahil edilmiştir. Diğer bir deyişle, gerçekleştirilen faaliyet için hiçbir teknolojiden yararlanılmaz. Operasyonlar, hiçbir makine kontrolü altında değildir, süreçler tamamen emek yoğun faaliyetlerle yürütülür ve manuel hakimiyet söz konusudur. Ülkemizdeki pek çok maden firmasında, maden çıkartım işlemlerinin büyük çoğunluğu emek yoğun-manuel şekilde sürdürülmektedir.

Yeraltı madeninde kazma-kürek kullanımı, el arabası kullanımı ve sivriç kullanımı gibi faaliyetler bu teknoloji seviyesi altında değerlendirilebilir. Çünkü bu faaliyetler sırasında kullanılan sözü geçen ekipmanlar, kullanıcılarına hiçbir teknolojik kolaylık sağlamazlar.

İnsan vücudunu ya da bir parçasını, bir nesneyi veya bir aleti kaldırmak, itmek, çekmek, taşımak, kontrol etmek, tutmak veya korumak için insan tarafından güç kullanımı ile gerçekleştirilen her türlü görev, manuel iş olarak tanımlanmıştır (Horberry ve diğ., 2016). Bu faaliyetler sırasında çalışanlar, onlara zarar verebilecek istenmeyen olaylara karşı oldukça savunmasızdırlar. Şekil 5.7'de görülebilen ayna faaliyeti sırasında yapılan kürek kullanımı ile gevşetilen malzemenin kaldırılması ve Şekil 5.9'da görülen vagona yüklenen malzemenin çalışan tarafından itilerek nakliyatının sağlanması, yeraltı madenciliğinin emek yoğun faaliyetleri için temel örneklerdendir. Tam otomasyon seviyesi haricindeki tüm teknolojik ekipmanlarda manuel görevler değişen yoğunluklarla bulunmaktadır. Fakat, 'teknoloji seviye 0' olarak tanımlanan bu teknolojik seviye içinde kullanılan ekipmanlar hiçbir motor gücünden yararlanmazlar ve doğrudan ve tamamıyla insan gücü ile yönetilirler.

Teknoloji Seviye 1 (Mekanizasyon): Yeraltı madenlerinin teknoloji ile ilk tanışması mekanizasyon sistemleri ile olmuştur. Bu yüzden manuel yönetilen motorsuz ekipmanlardan sonra ele alınan teknoloji, mekanizasyon sistemleridir. Mekanizasyon için, 'madenciliğin sanayi devrimi' ifadesini kullanmak yerinde olacaktır. Kızıl ve diğ. (1995) mekanizasyonu, teknolojinin madencilikte kullanılan ilk aşaması olarak tanımlamıştır. Yeraltında verimliliği artıran önemli sistemlerdir. Çalışma kapsamında bu teknoloji seviyesi, kendi içinde self-mekanizasyon, operatörlü mekanizasyon ve uzaktan mekanizasyon sınıflarına ayrılmıştır.

Seviye 1.1. Self-mekanizasyon: Daimî müdahalelere ihtiyaç duymayan ve aynı döngüde çalışan mekanizasyon sistemleri, self-mekanizasyon sınıfı olarak tanımlanmıştır. Yeraltı madenlerinde kullanılan taşıma bantları bu sınıfın en temel örneğidir. Yalnızca aç kapa komutlarının verilmesine ve düzenli bakımının yapılmasına ihtiyaç duyan bu sistemlerin daimî bir yönetici ya da kontrolör operatöre ihtiyaçları yoktur. Zincirli konveyörler, uç uca yerleştirilmiş çelik, ağır saç yapısının içinde, döndürücü bir kafanın tahrik ettiği yanal sonsuz iki veya daha çok zincire bağlanmış olan çelik çubuklarla (paletler), cevheri bu yapılar içinde nakleden ünitelerdir ve kazı mekanizasyonu için önemli bir adım olarak görülür (Tatar ve

Özfırat, 2003). Nakliyat işlemlerinin operasyonel olarak sürekli gerçekleştirilmesini sağlayan zincirli konveyörler 0.3 ile 8 km arasında değişen mesafelerde faaliyet gösterirken, hidrolik ve hava basınçlı konveyörler ise limitsiz mesafeler için kullanılabilmektedir (Hartman ve Mutmansky, 2002). Konveyör teknolojilerinin bir operatör tarafından sürekli olarak kumanda edilmesi, yönetilmesi ve kontrol edilmesi gerekmez. Madenin yapısı, rezervi, büyüklüğü, cevherin yapısı ve işletmenin ekonomik ölçeği gibi pek çok unsura bağlı olarak planlanan bu ekipmanlar, madende sıklıkla yer değiştirilemeyen demirbaşlar olarak nitelendirilebilir.

Seviye 1.2. Operatörlü mekanizasyon: Motor gücü ile çalışan ve operatör tarafından sürülen ya da yönetilen ekipmanların sahip olduğu teknoloji, operatörlü mekanizasyon sınıfı olarak tanımlanmıştır. Herhangi bir otomasyon teknolojisine sahip olmayan, fakat kullanımı konusunda self mekanizasyon sistemlerden çok daha fazla esneklik sunan bu teknolojik sınıf için, "operatörlü motorlu makine sistemleri" ya da "gelişmiş mekanizasyon" da denebilir. Yükle-taşı-boşalt görevlerinde kullanılan ve Şekil 5.8'de görülen LHD yeraltı kepçesi, basınçlı hava ile çalışan sehpalı delici tabanca delme makinesi ve kafes nakliyatında kullanılan vinç, tamamen operatör tarafından yönetilen ve bu sınıfta yer alan araçlardır. Madencilikte nakliyat işlemlerini döngüsel gerçekleştiren sürücülü lokomotif, shuttle car, kamyon ve Şekil 5.29'da görülen operatörün yönetimindeki bir vinç sistemi ile malzemenin çelik halatlar aracılığıyla çekilerek toplanmasını sağlayan slusher (scraper) (Hartman ve Mutmansky, 2002) için de operatörlü mekanizasyon ekipmanları tanımlaması yapılabilir.



Şekil 5.29 : Slusher (Url-5).

Ülkemizde sıklıkla metal madenlerinde kullanılan ve ilk kez 1980'li yıllarda Türk Maadin A.Ş. tarafından faaliyete geçirilmiş olan mekanizasyon sistemli LHD araçları (Eskikaya ve Aydıner, 2003) ve kömürün hem mekanik olarak kesilmesini hem de mekanik olarak zincirli oluğa yüklenmesi faaliyetlerini bir arada gerçekleştirmeye yarayan kömür madenlerinin vazgeçilmez ekipmanı kesici-yükleyici makineler de bu sınıfta değerlendirilebilecek ekipmanlardır. Bu ekipmanlara daha sonra, yürüyen tahkimatların da eklenmesiyle kazının, yüklemenin ve tahkimatın mekanik olarak yapıldığı tam-mekanize üretim sistemleri ortaya çıkmış ve insan gücü kullanımı önemli ölçüde azaltılmaya başlanmıştır (Tatar ve Özfırat, 2003).

Seviye 1.3. Kumandalı (remote) mekanizasyon: Operatörlü mekanizasyon sistemlerinin uzaktan kumanda ile yönetilmesidir. Operatörün omzuna astığı bir verici anten aracılığıyla, makinelerin temel mekanik hareketlerinin ve hız ayarı gibi işlemlerinin görüş mesafesi içinde emniyetli bir yerden radyo sinyalleri ile yönetilmesidir (Tatar ve Özfırat, 2003).

Görüş hattı içinden yönetilen bir uzaktan kumandalı sistem içinde, fiziksel bağlantılı kontrol ünitesi ya da telsiz kullanılarak, operatörün cevher bölgesinden hem görme hem duyma duyuları ile makineyi kontrol edebilmesi hem de faaliyetin etkin gerçekleştirilebilmesi sağlanır (Hartman ve Mutmansky, 2002). Operatör, ekipmandan uzaklaştığında hem güvenli şartlara tam olarak ulaşamaz, hem de kontrol yeteneğini kaybeder. Özellikle kömür madenlerinde kullanılan sürekli kesici, tamburlu kesici-yükleyici (Tatar ve Özfırat, 2003; Kızıl ve diğ., 1995), metal madenlerinde kullanılan yükle-taşı-boşalt yeraltı kepçeleri ya da joystick yönetim konsolları ile uzaktan kumanda edilen delme makineleri (Kızıl ve diğ., 1995) uzaktan kumanda sistemleriyle yönetilen mekanizasyon sistemlerine örnektir. Şekil 5.30'da uzaktan kumanda ile yönetilen bir yeraltı kepçesi görülmektedir. Lynas ve Horbbery (2011) çalışmalarında uzaktan kumanda ile kontrol edilen teknolojiyi minimal otomasyon olarak adlandırmıştır. Ghodrati ve diğ. (2015) ise, bu teknolojinin çoğunlukla güvenilmeyen yeryüzü zemin koşullarında, patlatma alanlarında, düşme riskinin bulunduğu alanlarda ya da yeraltı madenciliğinin tehlikeli operasyonlarında kullanıldığını belirtmiştir. Harekete geçme, durma ya da hız ayarlama gibi seçili komutlarla faaliyet gösteren lokomotifler de operatör aracılığıyla, yerel alanda kullanılan uzaktan kumanda sistemiyle yönetilebilmektedir (Öberg, 1979). Operatörün ekipmanı doğrudan yönetmesi yerine bir konsol aracılığıyla belli bir mesafeden yönetiyor olmasının,

faaliyet gerçekleştirilen alanı tam olarak göremediği ve makinenin fonksiyonlarını tam olarak hissedemediği için üretkenlikte düşmelere neden olduğu da belirtilmektedir (Ghodrati ve diğ., 2015).



Şekil 5.30 : Uzaktan kumanda ile yönetilen yeraltı kepçesi (Url-6)

Teknoloji Seviye 2 / Otomasyon: Mekanizasyon sistemlerinin ardından gelişen teknoloji ile birlikte, madencilik sektörü otomasyon sistemleri ile tanışmıştır. Otomasyon, makine sistemlerinin belirli faaliyetlerini gelişmiş teknoloji ile yönetilebilmesini sağlar. Yeraltı madenciliğinde otomasyon teknolojilerini var etme motivasyonu, iş güvenliğinin sağlanması, cevherin düşük kalitede olduğu yeryüzü madenleri için cevher ulaşılabilirliğini arttırması (mine accessibility) ve operasyonel maliyetlerin azaltılmasıdır (Bellamy ve Pravica, 2011). Otomasyon teknolojileri, sektörde kullanılabilirlikleri göz önüne alınarak çalışma kapsamında kontrol bazlı otomasyon, faaliyet bazlı otomasyon, uzaktan kontrollü otomasyon ve tam otomasyon olarak sınıflandırılmıştır.

Seviye 2.1. Kontrol Bazlı Otomasyon: Faaliyet yürütülürken denetlemeler yaparak, sensörler aracılığıyla, çalışanın hata yapmasını engelleyici, hatırlatıcı, tespit edici özelliklerle çalışana uyarı veren teknoloji olarak tanımlanabilir. Lynas ve Horberry (2011) ve Horberry ve diğ. (2016) tarafından, çeşitli algılamalar yapabilen uyarı sistemleri ya da ekipmanın bakım sinyalini veren sistemler olarak tanımlanan bu teknoloji seviyesine "düşük seviye otomasyon" adı verilmiştir. Örneğin, çalışanın belirli bir faaliyeti hatalı yaptığını tespit edip, hatanın herhangi bir olumsuz duruma sebebiyet vermeden düzeltilmesi için fark edilirlik sağlayıcı uyarı sistemleri ya da çalışanın bir sonraki sürece geçmesine engelleyici sistemler bu kategori altında incelenebilir. Dolayısıyla bu seviye teknoloji için "akıllı eklentiler, akıllı cihazlar, faaliyet asistanı" gibi "operatöre uyarı ya da bilgi sunabilen sistemler" denebilir. Sistem, otomasyon teknolojisinin, çalışan yardımı almadan gözlem yapma, durumu

analiz etme gibi temel yetilerinden yararlanarak, sürdürülen faaliyete operatörün hata yapmamasını sağlayacak kritik bir katkıda bulunur. Dolayısıyla bu seviye otomasyon için, bütün teknik operasyonların çalışan tarafından gerçekleştirildiği, otomasyonun ise çalışana sadece sınırlı alanlarda uyarılar yaparak yardımda bulunduğu belirtilebilir (Horberry ve diğ., 2016).

Seviye 2.2. Faaliyet Bazlı Otomasyon: Literatürde yarı otomasyon (Ghodrati ve diğ., 2015; Hartman ve Mutmansky, 2002) ya da orta seviye otomasyon (Horberry ve diğ., 2016; Lynas ve Horberry, 2011) olarak ifade edilen bu teknoloji seviyesinde, sistem makine operatörüne, makinenin yerine getirmesi beklenen faaliyetlerden bir kısmını yerine getirerek yardımcı olmaktadır. Dolayısıyla sistemin yalnızca belli faaliyetleri için gelişmiş otomasyon seviyesine sahip olan bu teknoloji seviyesine "parçalı otomasyon", kullanıldığı sistemin operatörüne yardımda bulunduğu için de "operatör yardımcısı" ifadeleri kullanılabilir. Otomasyon, operatör tarafından yönetilen bir makine sisteminin bazı fonksiyonlarını kontrol etme yeteneğine sahiptir. Yükleme ve boşaltma işlemlerini çalışanın yönettiği ama taşıma işlemini otomasyonun gerçekleştirdiği LHD kepçesi bu teknoloji seviyesi için örnek verilebilir (Ghodrati ve diğ. 2015; Hartman ve Mutmansky, 2002). Diğer yandan, olası bir çarpışma tespit edildiğinde (sadece bir uyarı vermek yerine) otomatik olarak sistemi durduran çarpışma tespit teknolojileri (Horberry ve diğ., 2016) de bu seviyede değerlendirilebilir. Horberry ve diğ. (2016)'in ifadesine göre ise, bu teknoloji seviyesindeki bir ekipman kullanımında operatör belirli zamanlarda ekipmanın yönetiminden çekilse de ekipmanı kontrol etmeye devam eder. Örneğin, önceden tanımlanmış bir hızda ayarlanmış bir taşıma aracında otomasyonun hareketi devralmasının ardından, faaliyet operatör tarafından sadece pasif olarak izlenir, fakat müdahalenin gerektiği durumlarda operatör tarafından sisteme müdahale edilebilir. Diğer bir deyişle otomasyon asla yalnız bırakılmaz. Örneğin, otomasyonun giderek daha fazla faaliyeti üzerine almaya başladığı otomobil sektöründe günümüzde kullanılan hız sabitleyicileri, şerit koruyucu ya da mesafe koruyucu sistemleri de bu teknoloji sınıfı altında değerlendirilebilir. Otomasyon sistemi, operatör adına bazı faaliyetleri yerine getirse de çalışanın, istediği durumda ve anda sisteme müdahale etme imkânı vardır. Maden makinesinin kısmi olarak otomatikleştirilerek, sistemin belli fonksiyonlarını otomasyonun yapması, çalışanı dinlendiren uygulamalar olarak kabul edilebilir (Ghodrati ve diğ., 2015).

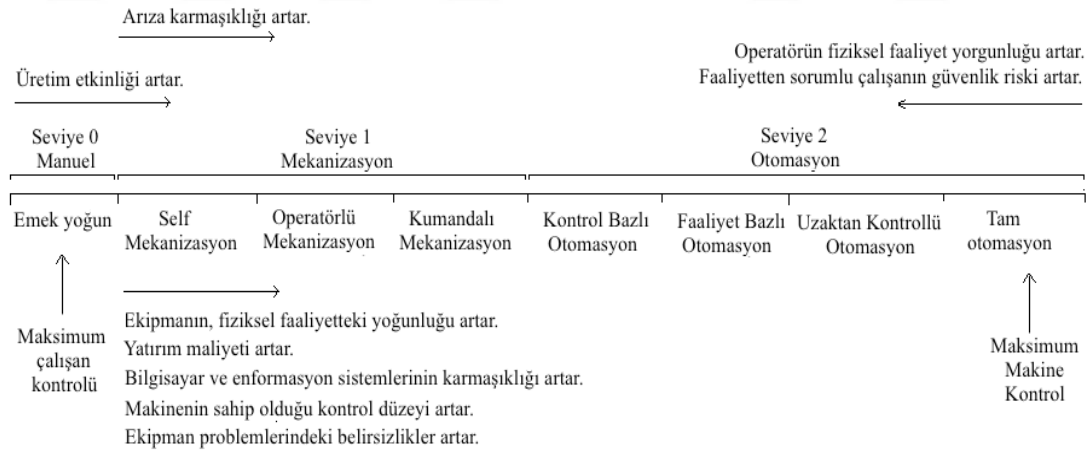
Seviye 2.3. Uzaktan Kontrollü Otomasyon: Makine sisteminin, faaliyetin gösterildiği alandan tamamen farklı bir lokasyondan, otomasyon sistemlerinden alınan yardımlarla maden bölgesinin dışından kontrol edilebilmesidir. Lynas ve Horberry (2011), sensörleri ve tahrik kolları olan bir sistemin lokasyon olarak uzakta bulunan operatörle iletişim kurmasını ve sistemin operatör tarafından uzaktan kontrol edilmesini sağlayan bu teknolojiyi tele operasyon (teleoperation) olarak ele alıp parçalı otomasyon olarak adlandırmışlardır. Ghodrati ve diğ. (2015) ise, kameraların, sensörlerin ve ek konumlandırma yazılımlarının kullanımı ile ekipmanların operatör tarafından uzaktan kontrol edilmesi olarak tanımlanmıştır. Tele operasyon sisteminde, operatör maden alanı içine girmek zorunda değildir ve ekipmanı uzak bir lokasyondan yönetir. Bu sistemde operatör yeraltındaki birkaç tane LHD aracını yeryüzünden kontrol edebilirken, yeraltında yalnızca rutin olarak faaliyet gösteren ve bakımdan sorumlu personel bulunur. Bu tip uzaktan kontroller genellikle geniş bant iletişim sistemleri ile gerçekleştirilir (Hartman ve Mutmansky, 2002). Çalışan, tehlikeli alanların kilometrelerce dışında tutulabilir. Fakat, komutların iletilmesinde yaşanan gecikmelerin süreçleri aksatması gibi problemlerin de yaşanabildiği belirtilir (Ghodrati ve diğ., 2015). Yeraltı madenlerinin, şehir merkezlerinden uzakta konumlanmış yerleşkelerinde nitelikli eleman çalıştırabilme zorluğunu ortadan kaldırarak, çalışanların aile ve sosyal hayatlarından mahrum kalmaması ile madenciliğin sosyal sürdürülebilirliğine önemli düzeyde katkı sağlayacak bir teknoloji olduğu söylenebilir. Belli bir kontrol odasından kontrol edilebilen ekipmanın, madencilik sektörü dışında, mayınlı bölgeler ya da tıbbi radyasyon gibi toksik alanlarda ve pek çok tehlikeli ortamda giderek daha fazla kullanıldığı belirtilir (Lynas ve Horbbery, 2011). Nebot (2007)'un çalışmasında uzaktan kumanda ile yönetilen bir yeraltı madeni LHD kepçesinde, taşıma faaliyeti sırasında araçta bulunan kamera ve lazer sistemleri aracılığıyla, otomasyon sistemi tünel duvarlarını görebildiği ve ayna bölgesinden yüklemenin yapılacağı nokta arası rotayı otomatik olarak oluşturabildiği belirtilmiştir. Harekete geçme, durma ya da hız ayarlama gibi seçili komutlarla faaliyet gösteren lokomotifler de bilgisayar aracılığıyla yönetilebildikleri için uzaktan kontrollü otomasyon sınıfına dahildirler (Öberg, 1979). Doğru akım elektrik teknolojisinin yerini alan alternatif akım elektrik teknolojisine sahip, sıfır karbon emisyonlu, düşük enerji tüketimli, fakat kullanımında esnekliğin bulunmadığı raylı taşımacılık sistemlerinin tam otomatik-sürücüsüz yönetilebilmesi mümkün olduğundan (Merchiers ve diğ., 2015), yeraltı madenlerinde raylı taşımacılık ilgili

şartları sağlaması durumunda uzaktan kontrol edilebilen otomasyon teknolojisi ile birlikte kullanılabilir.

Seviye 2.4. Tam Otomasyon: Bu otomasyon seviyesinde sistem gözlem, analiz, karar verme ve uygulama fonksiyonlarının hepsini kendi yapabilir. Bu nedenle tam otomasyon teknolojisi, operatörsüz ya da sürücüsüz olarak nitelendirilebilir. Çalışan, ekipmandan tamamen farklı bir noktada konumlanır ve sadece ekran, joystick ve görüntüler üzerinden süreci izler (Lynas ve Horberry, 2011; Horberry ve diğ., 2016). Ekipmanın fonksiyonlarına dair faaliyetlerin ve kontrollerin tamamı makine tarafından yapılır. Otomasyon sistemlerinin sürücüsü, herhangi bir arıza yaşanması durumunda operasyonel ve güvenlikle ilişkili sorunlara neden olabilecek ve arızalarının da kolaylıkla tahmin edilemediği 'yazılım'dır (Ghodrati ve diğ., 2015). Makine gerekli yapay zekâ sistemleriyle donatılmış olduğu için çalışan, makineyi faaliyet alanı dışından gözlemler. Otomasyon uygulamalarının tümü, ekipman ve operatör arasında antenler aracılığıyla çift yönlü iletişime imkân sağlayan geniş bant iletişim sistemleri kullanır. Böylelikle, operatör ekipmanın tüm parçalarına emirler gönderebilir ve ekipmandan geriye de data alabilir (Hartman ve Mutmansky, 2002). Otomasyon düzeyinin daha da artmış olması, çalışanın süreçlerden tamamen uzak tutulması ve yeraltı madenlerinin zorlu çalışma şartlarından etkilenmemesi anlamına gelecektir. Yapay zekâ ile bütünleşik otomasyon teknolojisi aracılığıyla yönetilen makineler, operatörünü tehlikeli konumdan tamamen uzaklaştırır. Ekipmanların insansız çalışmasına imkân veren bu teknoloji seviyesi, daha güvenli bir çalışma ortamı sağlamanın ötesinde, örneğin delme işlemi gibi hassasiyet gerektiren faaliyetlerde yapılan işlerin etkinliğini arttırarak, daha önce insanlar tarafından erişilemeyen alanlarda da madenciliğin yapılmasına imkân sağlar (Boudreau-Trudel ve diğ., 2014). Yeryüzü madenciliğinde kullanılan sürücüsüz kamyonlar, tam otomasyonun en iyi örneklerindendir. Bu sistemle yükleme, taşıma ve boşaltma işlemlerinin hepsi insan müdahalesi olmadan yerine getirilmektedir. Ortaya çıkan makine arızaları sistem tarafından tespit edilmektedir (Kızıl ve diğ., 1995). Tam otomasyon teknolojisine sahip bir yükle-taşı-boşalt aracının, yeraltında nereden ve nasıl yükleme yapacağına, boşaltma noktasına gitmek için hangi rotayı kullanacağına ve nereye ve nasıl boşaltma yapacağına karar verip, bunları hiçbir çalışan desteğine ihtiyaç duymadan uygulaması beklenir. Otomasyonun faaliyetleri, bir bilgisayar ekranı, joystick ve ekranlar aracılığıyla tamamen ayrı bir bölgeden denetlenebilir. Tam otomasyonlu madencilik

sistemleri, bir veya daha fazla fonksiyonu operatör kontrolü gerektirmeden gerçekleştirip, faaliyet sırasında meydana gelebilecek hataları da gidererek, önemli düzeyde üretkenlik artışı sağlar (Ghodrati ve diğ., 2015). Sürücüsüz yükleyici kamyonların yeryüzü madenciliğine etkilerini değerlendiren Bellamy ve Pravica (2011), otomasyon teknolojilerinin çalışanları tehlikeden uzak tuttuğunu ve kullanımları arttıkça madenlerin çalışma yapıları ve çalışan sayılarında değişiklikler meydana getireceğini belirtmiştir. Ayrıca otomasyon teknolojisi ile, daha az işçilik maliyeti ortaya çıkacağından, daha düşük kalitedeki madenlerin bile işletilebileceklerini ve böylelikle ekonomik olmayan madenlerin bile kârlılık sağlayabileceğini ifade etmişlerdir.

Bu çalışmada literatürdeki otomasyon seviyelerine göre yapılan sınıflandırmalardan yararlanılmıştır. Fakat kullanılan tüm maden teknolojisi göz önüne alınarak detaylı bir sınıflandırma yapılmıştır. Çalışma kapsamında oluşturulan maden ekipmanları teknoloji sınıfları, Şekil 5.31'de görüldüğü gibi detaylı bir şekilde özellikleri ile birlikte gösterilmiştir. Ölçek üzerindeki sıralama, teknolojinin süreçlerde insanlar yerine faaliyetleri devralabilme yetenekleri ve kullanım esneklikleri göz önüne alınarak yapılmıştır.



Şekil 5.31 : Maden ekipman teknoloji seviyelendirmesi.

Maksimum çalışan kontrolü ve güç gerekliliği manuel sistem ekipmanları için geçerli iken, maksimum makine kontrolü de tam otomasyon teknoloji sınıfı ekipmanlarında vardır. Manuel kontrol edilen fonksiyon tamamen insan tarafından yönetilir, tam otomasyon ile kontrol edilen bir fonksiyon da tamamen makine tarafından yönetilir (Lynas ve Horberry, 2011). Bu duruma karşılık, otomasyon sistemlerinin yatırım ve bakım maliyetleri mekanizasyon sistemlerinden fazladır ve otomasyon sistemlerindeki

arıza karmaşıklığı ve problemlerin belirsizlikleri de mekanizasyon sistemlerinden daha fazladır. Hatta bu durum, Ghodrati ve diğ., (2015) tarafından, 'otomasyon sistemlerinin yazılımında meydana gelecek sıkıntıların yönetimi oldukça zordur ve bu konu geleceğin tam otomatik madenlerinin de en büyük zorluğu olacaktır' şeklinde belirtilmiştir. Dolayısıyla otomasyon sistemlerinde, önemli düzeyde yazılım karmaşıklığı bulunabilir. Fakat açıktır ki, otomasyonla yönetilen ekipmanların üretim etkinliği, mekanizasyon ve manuel sistemlerden daha fazladır. Otomasyon teknolojisi ekipmanları kullanıcılarının konforu yüksek, güvenlik riskleri ve fiziksel yorgunlukları mekanizasyon ve manuel sistem ekipmanları kullanıcılarına göre daha düşüktür. Operatörlü ve kumandalı mekanizasyon ile faaliyet bazlı ve uzaktan kontrollü otomasyon sistemlerine dahil ekipmanlar arasındaki üretim etkinliği sıralaması konusunda ise fikir birliğine varılmamıştır.

Özellikle işgücü maliyetlerinin düşük olduğu ve verimliliği artırmak için teknoloji teşviklerinin az olduğu gelişmekte olan ülkeler, madencilik faaliyetleri için hala büyük miktarda insan gücüne ihtiyaç duymaktadır (Ghodrati ve diğ., 2015). 20 yıl öncesinde işçilik ücretlerinin az, enflasyonun yüksek olduğu ülkelerde, tam mekanizasyona geçmenin amaçlanmayabileceğine ve ancak üretimin bazı aşamalarında mekanizasyondan faydalanarak, belli ölçüde tasarruf sağlanabileceği düşünülüyordu (Elevli ve diğ., 1996). Fakat günümüz endüstrisinde rekabet avantajı elde edebilmenin yolu daha hızlı, daha kaliteli ve daha ekonomik üretim yapabilmek için mekanizasyon ve otomasyon sistemlerinden yararlanmaktan geçmektedir. İşçilik maliyetlerinin yüksek olduğu ülkemiz gibi gelişmekte olan ülkelerde, satın alma, kurulum ve bakım maliyetleri yüzünden tam otomasyon teknolojilerinin kullanımına geçişin, gelişmiş ülkelere göre gecikeceğine inanmak olasıdır. Bu yüzden, gelişmiş teknolojilerin ülkemiz metal madenciliği uygulamalarında yer alabilmesinin, en azından şimdilik, kısmi olarak mümkün olabileceği düşünülebilir. İşletmelerin güvenlik ve maden çıkartma etkinlik ve verimliliklerinin daha yüksek seviyelere taşınabilmesi için, üretim süreçleri içinde mümkün noktalarda gelişmiş teknolojilere sahip ekipmanların kullanımı üzerine çalışılabilir.

Yeraltı çalışanlarının faaliyet yükünü azaltabilmek için rutin, tek düze, sıkıcı ve nispeten karmaşıklığı az olan fonksiyonların otomasyon teknolojisine devredilmesi, madencilik sektörünün teknoloji konusundaki mevcut durumunu iyileştirme konusunda amaç olarak belirlenebilir. Diğer yandan, teknolojinin çalışanı doğrudan ya

da dolaylı olarak riskli faaliyetlerden koruyacak şekilde kullanımı ile faaliyetler kapsamındaki güvenlik seviyesinin arttırılması da firmalar için hayati bir adım olabilir. Belirli süreçlerde otomasyon teknolojisinden destek almak, süreçlerin İSG açısından daha sağlıklı yönetilmesini sağlayacaktır. Örneğin, uygulamasının doğru yapılmaması halinde ortaya çıkan güvenlik riski, sürecin yanlış gerçekleştirilmesini önleyici kontrol sistemi olarak yararlanılan bir otomasyon teknolojisi ile azaltılabilir. Kontrol sistemlerinin sürece yaptığı katkısı hem etkinlik hem de güvenlik açısından ölçümlenemeyecek kadar yüksek olabilir. Otomasyon teknolojilerinin insanların yerlerini alarak değil, insanların yaptıkları işlerin doğasını olumlu yönde değiştirebilme etkisine sahiptirler (Lynas ve Horberry, 2011).

Maden ekipmanları, dünya çapında mümkün olduğunca çok sayıda potansiyel müşteriye ulaşabilmek üzere tasarlanmaktadır. Madencilik şirketleri de ekipman üreticileri ile çalışmak yerine, depodan satın almayı tercih edebilmektedir (Boudreau-Trudel ve diğ., 2014). Maden işletmelerinde ekipmanların doğrudan katalogdan seçilmesi, faaliyet içindeki kullanımı konusunda sorunlar yaşanmasına neden olabilmektedir. Bu yüzden ekipmanların işletmelerin şartlarına, amaçlarına ve madenin yapısına yönelik tasarlanması önerilir. Çünkü, teknolojik inovasyonların başarılı uygulaması, yeni bir ekipman almaktan çok daha fazlasıdır (Boudreau- Trudel ve diğ., 2014). Fakat teknolojinin tasarım hali ve kullanımdaki uygulaması arasında tutarsızlıklar olması durumunda, kritik problemler, operasyonel güvensizlikler ve üretim riskleri meydana gelecektir (Ghodrati ve diğ., 2015). Bu sebeple, teknolojik ekipman yatırımı yapmadan önce süreçler içindeki teknolojinin müdahalesine uygun noktalar dikkatlice belirlenmelidir. Böylelikle, faaliyetler sürdürülürken yaşanan sıkıntıların çözümünde etkili olabilecek teknolojik ekipmanların sahip olması beklenen özellikleri ile belirlenmesi, teknolojinin tasarım aşamasının sağlıklı şekillenmesini sağlayacaktır. Bu yüzden, emek ve yatırımların karşılığını yüksek güvenlik seviyesi, aksamayan süreçler ve kaliteli çıktılar ile alabilmek için teknolojiden doğru bir şekilde yararlanmak ve sistem içinde teknolojik müdahale yapılabilecek noktaları kapsamlı bir şekilde belirlemek gerekir.

5.2.8.2 Teknolojik ekipman kullanımları ile risk kontrol değerlendirmesi

Yapılan literatür araştırması ile otomasyon seviyesi yükseldikçe, ekipmanların birden fazla teknoloji sınıfına ait olabildiği görülmüştür. Örneğin, LHD araçlarının hem

operatörlü mekanizasyon hem kumandalı mekanizasyon hem de uzaktan kontrollü otomasyon sınıfına dahil edilebildiği anlaşılmıştır. Bu durum, Bayes ağına eklenecek teknolojik ekipmanları belirlerken, faaliyetin yapısına ve ağ içindeki konumuna uygun ekipman alternatiflerinin tanımlanmasında ekipman çeşitliliğine yönelik motivasyon yaratmıştır. Çalışma kapsamında, teknolojik ekipmanlara dair sahip olunan bilgilerin göz önüne alınması ile maden işletmesindeki faaliyetlerle ilişkili çeşitli teknolojik inovasyon noktaları belirlenmesi planlanmıştır.

Madencilik sektöründe uzunayak ekipmanları ile kömür madeni için çeşitli teknoloji seviyelerinden yoğun olarak yararlanıldığı söylenebilir. Madencilik uzmanları arasındaki algı, son yıllarda madenciliğin teknoloji uygulamasında üretim veya bilgisayar gibi diğer sektörlerin gerisinde kaldığı yönündedir. Madencilik teknolojileri, büyük bir hızla sürekli inovasyon yapısı içinde görünse de durumun yalnızca ekipman büyüklüklerinin artması şeklinde olduğu düşünülmektedir. Madencilik endüstrisinde, yeni ekipman geliştirme ve ticarileştirme sağlama süresi tipik olarak 7-10 yıl arasındadır. Bu durum, çoğu maden şirketinin birden fazla madene sahip olduğu ve bu madenlerin ömürlerinin 10 yıldan daha az olduğu göz alındığında, firmaların teknolojik inovasyonlardan yararlanma arzusunu bile ortadan kaldırabilir (Bellamy ve Pravica, 2011). Bu sebepten dolayı, yepyeni bir maden makinesi yapmak yerine maden süreçlerinde çalışanların yerine getirdiği zorlu ve riskli faaliyetlerde onlara yardımcı olacak ya da tehlikenin ortaya çıkmasını engelleyecek ufak otomasyon sistemlerinden yardım alınması girişimi daha yerindedir. Bu çalışmada bu duruma uygun olarak, yeraltı madeninin çalışanları ve yöneticileri için daha güvenli ve süreçlerin daha kesintisiz sürdürülmesine imkân verecek, teknolojik destekler sağlanması hedeflenmiştir.

Krom madenciliği, içinde, tekdüzelikten uzak ve sürekli insan müdahalesine ihtiyaç duyulan çeşitli süreçleri barındırdığı için, krom madenciliği için ya karmaşık işlevleri olan makinelere ya da insanlarla entegre olarak çalışacak ve süreçlere parçalı yardımlarda bulunacak yeni teknolojilerin geliştirilmesine ihtiyaç vardır. Örneğin, madencilikte otomasyon pazarına oldukça hâkim olan Caterpillar firmasının bakır, altın ve demir madenleri gibi madenlerde kullanılan insansız kamyonlarının maliyetleri, 3,5 ile 5 milyon dolar arasında değişmektedir (Url-7). Dolayısıyla hem süreçlere entegre edilmesi kolay hem de daha alt seviye teknolojileri kapsadığı için

maliyetleri daha uygun olan teknolojik ekipman planlamaları yapmak yerinde bir girişim olacaktır.

Çalışma kapsamında, belli bir teknolojik ekipmanla yürütülen süreçlerde meydana gelen istenmeyen olayların, süreçlerin, çeşitli otomasyon seviyelerindeki farklı ekipmanlarla sürdürülmesi halinde nasıl etkileneceğinin gözlenmesi için Bayes ağına risk kontrol seçenekleri eklenmiştir. Konuyla ilgili olarak, teknoloji unsurunun, madencilik risk araştırması çalışmalarında incelenmesine yönelik literatür önerileri de mevcuttur (Samantra ve diğ., 2015). Risk kontrol seçenekleri, krom madenine ve işletmeye olan uygunluğu göz önüne alınarak, uzmanlarla bir arada geliştirilmiş teknolojik ekipman önerilerinden oluşmaktadır. Maden faaliyetleri süresince ortaya çıkan iş kazaları risk analizine, faaliyetlerin farklı otomasyon seviyelerine ait teknolojik ekipmanlarla sürdürülmesi, uygun senaryolarla dahil edilmiştir. Literatürde henüz incelenme imkânı bulamamış olan yeni teknolojik ekipmanların madenlerdeki belirli kaza risklerine olan yansıması konu edilmiştir.

Risk kontrol seçenekleri olarak ağa eklenen 'teknolojik ekipmanlar' ile ilişkili araştırma soruları aşağıdaki gibidir:

- Faaliyetin farklı ekipmanlarla kullanılarak sürdürülmesi mümkün mü?
- Farklı ekipmanların kullanılması ile gerçekleşme ihtimali ortadan kalkan kazalar var mıdır?
- Farklı ekipmanların kullanılması halinde beklenen yeni kaza türleri var mıdır?
- Mevcut ekipman kullanımı ile gerçekleşmesi beklenen kazaların, farklı teknolojik ekipmanların kullanılması halinde gerçekleşme olasılıkları nasıl değişir?
- Farklı teknolojik ekipmanların kullanımı ile ortaya çıkacak kazalar kapsamında hangi kök nedenler ön plana çıkar, hangi nedenler kazaların gerçekleşmesinde etkisini yitirir?

Madencilik ekipmanlarının işletilmesi ve bakımı, kaçınılmaz olarak manuel görevler içerdiği için (Horberry ve diğ., 2016), ekipmanların yönetiminde gereken insan gücü yüzdesinin azaltılması hem çalışanlar için daha sağlıklı ve rahat çalışma koşulları oluşturacak, hem de üretimin daha güvenli ve üretken yapılmasına imkân verecektir. Teknolojinin yeraltı maden ekipmanlarında yarattığı seviyeler göz önüne alındığında,

farklı ekipmanların kullanımları arasında güvenlik riski, kullanılabilirlik, üretkenlik, yönetilebilirlik ve mali açılardan farklılıklar meydana getirmesi beklenir. Dolayısıyla teknolojik farklılıkların, işletmelere yansımalarına dair karşılaştırmalı incelenmesi yerinde bir karardır. Belirtilen araştırma soruları ile farklı teknolojilerin maden süreçlerine güvenlik açısından yansıması incelenecektir.

Literatürde, teknolojik gelişim perspektifinden madencilik sektörünün mevcut durumu (Suppen ve diğ., 2006), sürdürülebilir madenciliğin gelişimi için temiz teknoloji kullanmanın önemi (Hilson ve Murck, 2000) ve otomasyon teknolojileri ile insan faktörü arasındaki ilişki ile insanlara olan etkilerin azaltılmasına yönelik tanımlayıcı çalışmalar (Lynas ve Horberry, 2011) yer almaktadır. İleri otomasyon teknolojileri ile madenciliğin geldiği noktanın tartışıldığı çalışmalar da mevcuttur (Bellamy ve Pravica, 2011; Boudreau-Trudel ve diğ., 2014). Ülkemiz madencilik sektörünün faaliyetlerinin küçük ölçekli işletmelerce, çoğunlukla emek yoğun faaliyetlerle sürdürülmesi (Eskikaya ve Aydıner, 2003), teknolojinin ülkemiz şartlarındaki mesleki güvenlik riskine olan yansımasının incelenmesini gerekli kılmaktadır. Dolayısıyla, yeraltı madenciliği faaliyetleri mesleki kazaları risk incelemesine, ekipmanların sahip olduğu teknoloji seviyelerinin etkisinin dahil edilmesi yerinde bir müdahaledir.

Madencilik sektörü teknolojik ilerlemelerine dair yapılan kapsamlı araştırmadan sonra, krom madeni faaliyetlerinin farklı teknolojilere sahip ekipmanlarla sürdürülebilirliği sorgulanmıştır. Mevcut literatürden ve teknoloji üreticisi firma sunumlarından yararlanılarak, uzmanların da doğrulaması ile, faaliyetlerin sürdürülebilmesinde kullanılabilecek farklı teknolojilere sahip ekipmanlar listelenmiştir. Oluşturulan Bayes ağına eklenecek risk kontrol seçenekleri, kaynakları ile birlikte Çizelge 5.4'te sunulmuştur.

Risk kontrol I: delme faaliyetinin kumandalı mekanizasyon teknolojisine sahip ekipmanla yapılması

Sehpalı delici tabanca denilen ve operatörlü mekanizasyon teknoloji sınıfı altında değerlendirilen ekipmanla gerçekleştirilen delme faaliyetinden sorumlu çalışan, akciğer rahatsızlığı, ekipman yaralanması, kavlak düşmesi ve fiziksel zorlanma mesleki olaylarına dair çeşitli riskler altındadır. Fakat faaliyetin, ağa müdahale unsuru olarak eklenen uzaktan kontrol edilen delme makinesi ile sürdürülmesi halinde, çalışanın akciğer rahatsızlığı ve kavlak düşmesi olaylarına daha az maruz kalacağını öngörmek mümkündür. Uzaktan kumandalı delme makinesi literatürde de (Kızıl ve

diğ., 1995), sektörde de (Url-8) yerini almıştır. Delme faaliyetinin uzaktan kumanda ile gerçekleştirilmesi, operatörünün ekipman yaralanması ve fiziksel zorlanma olaylarına maruz kalma ihtimallerini ortadan kaldıracaktır. Çünkü, kontrolü ve yönetimi oldukça zorlu olan delme makinesi ile çalışmak yerine, delme makinesini uzaktan yönetmek çalışanı koruyucu bir yöntemdir. Operatör ekipmanı doğrudan yönetmek yerine bir konsol aracılığıyla belli bir mesafeden yönetir (Ghodrati ve diğ., 2015). Sistemin etkinliği, ekipmana uygulanan bakımın etkinliğine bağlı olacaktır.

Çizelge 5.4 : Bayes ağına eklenecek risk kontrol unsurları.

Risk Kontrol	**Faaliyet**	**Mevcut ekipman / *Teknoloji seviyesi***	**Önerilen teknolojik ekipman / *Teknoloji seviyesi***
I	Delme	Delme makinesi / *Operatörlü mekanizasyon*	Uzaktan kontrol edilebilen delme makinesi / *Kumandalı mekanizasyon* (Kızıl ve diğ., 1995)
II	Patlatma uyarısı	*Manuel*	Sensörlü uyarı sistemi / *Kontrol bazlı otomasyon* (Yazar)
III	Kontrol sondajı	*Manuel*	Yeraltı sondaj makinesi (Wang ve diğ., 2011) / *Operatörlü mekanizasyon*
IV	Kavlak düşürme	*Manuel*	Kavlak düşürme makinesi / *Operatörlü mekanizasyon* (Felbinger, 1996)
V	Ayna	I. Kürek kullanımı / *Manuel* II. Yeraltı kepçesi kullanımı / *Operatörlü mekanizasyon*	I. Yeraltı kepçesi kullanımı / *Operatörlü mekanizasyon* II. Yeraltı kepçesi kullanımı (Gustafson ve diğ., 2013) / *Uzaktan kumandalı mekanizasyon*
VI	Nakliyat	I. El arabası – *Manuel* Vagon kullanımı / *Manuel* II. Yeraltı kepçesi kullanımı / *Operatörlü mekanizasyon*	I. Yeraltı kepçesi kullanımı / *Operatörlü mekanizasyon* II. Lokomotif (Dammers ve diğ., 2019; Öberg, 1979) / *Operatörlü mekanizasyon*
VII	Karakol kapısı	Manuel kontrol edilen kapı	Otomatik kapı / *Kontrol bazlı otomasyon ile desteklenmiş operatörlü mekanizasyon* (Yazar)
VIII	Oluk Yükleme	Manuel	Otomatik oluk yükleyici / *Kontrol bazlı otomasyon ile desteklenmiş operatörlü mekanizasyon* (Yazar)
IX	Kafes yükleme	Manuel	Otomatik kafes yükleyici / *Kontrol bazlı otomasyon ile desteklenmiş operatörlü mekanizasyon* (Yazar)
X	Kafes nakliyat	Operatörlü mekanizasyon	Otomatik vinç sistemi / *Kontrol ve uyarı tabanlı otomasyon* (Yazar)

Risk kontrol II: patlatma uyarısının kontrol-uyarı bazlı otomasyon sistemi ile desteklenmesi

Tüm maden çalışanlarının patlatma bölgesi içine girmemeleri için patlatma faaliyeti kapsamında patlatma uyarısı yapılır. Bu uyarılar sözlü ve görsel levhalarla sağlanır. İstemsiz ihmallere açık olabilecek olan bu uygulamalara, sensörlü alarm sistemleri ile, çalışanların sınırlı alana girememeleri için daha etkili uyarı sistemleri entegre edilebilir. Bu sistem, patlatma bölgesine girilmesi hatasını elektronik sistemler ile tespit ederek, çalışanları hareket sensörleri aracılığıyla alınan bilgilerle ilişkili işitsel ve görsel uyaran bir teknoloji olarak tanımlanabilir. Bu teknolojik ekipman desteğinin, günümüzde kolaylıkla ulaşılan bir teknoloji olduğu belirtilebilir. Patlatma uyarı

sisteminin etkinliği, sistemi aktifleştiren çalışanın ilgili sistemin kullanımına dair bilgisine bağlı olacaktır. Mekanik ve elektronik sistemle çalışan sistemin etkinliği ise, sisteme uygulanan bakımın etkinliğine bağlıdır. Ağa eklenen bu değişkenin durumsal parametrelerinin, 'yeterli ve yetersiz' olarak dikkate alınması uygundur.

Risk kontrol III: operatörlü mekanizasyon ile kontrol sondajı yapılması

Yeraltı kontrol sondajları, ilerlenen bölgenin arkasında ne olduğunu anlamak için yapılan tahliller anlamına gelen bir faaliyettir. Kömür madenleri için kullanımı literatürde sıklıkla ele alınmış olan kontrol sondajlarının (Wang ve diğ., 2011), uzmanlarca metal madenleri için de gerçekleştirilebileceği belirtilmiştir. Böylelikle, ilerleme yapılacak bölgede gaz ya da su birikmesi gibi bir tehlike olup olmadığını anlayabilmeyi sağlanabilir. Böylelikle, 'kontrol sondajları' gaz/su birikintilerinden doğacak tehlikeleri önlemede oldukça önemli bir rol oynar. Gaz sızması ya da su baskınları yaşanmadan önlenebilir. Kontrol sondajının sağlıklı bir şekilde yerine getirilmesi, sondajın doğru sıklıklarla, doğru noktalara yapılması, doğru yorumlanabilmesi ve sorumlu çalışanın teknik bilgisi gibi unsurlarla İSG planlama ve çalışanın aldığı İSG eğitimlerine bağlıdır. Ağa eklenen bu değişkenin durumsal parametreleri ise, 'yeterli ve yetersiz' olarak dikkate alınır.

Risk kontrol IV: kavlak düşürme sürecinin operatörlü mekanizasyon ile yapılması

Tavan ya da yan duvarlardan gevşeyen taşların, çalışanların üzerine düşmesi anlamındaki, kavlak düşmesi olaylarının önüne geçebilmek için en etkili eylem, düşme durumunda bulunan parçaların kavlak düşürme olarak ifade edilen kontrollü bir şekilde düşürülmesidir. Kavlak kontrolü faaliyeti çalışan tarafından gözle ve sivriç adı verilen ince uzun demirden ya da çelikten yapılmış bir ekipmanla sağlanmakta ve çalışanca gerekli görülen parçaların düşürülmesi yine aynı ekipmanla yapılmaktadır. Manuel bir şekilde ve emek yoğun gerçekleştirilen bu faaliyet mekanize kavlak düşürme ekipmanları ile de yapılabilmektedir (Felbinger, 1996). Dolayısıyla faaliyetin gerçekleştirilmesinde motor gücünden yararlanılması, kavlak kontrolü ve kavlak düşürme sürecinin daha etkin gerçekleştirilmesini sağlayacaktır. Kavlak düşürme işlemi, bir makine sistemi ile gerçekleştirileceği için faaliyetin etkinliği, ekipmanın bakımına, jeolojik yapıya ve sistemi yöneten çalışanın ilgili İSG eğitimi konusundaki birikimine ve anlık dikkatine bağlı olacaktır. Ağa eklenen bu değişkenin farklı

durumları manuel kavlak kontrol değişkeninin durumsal parametreleri ile aynı olup, 'yeterli ve yetersiz' olarak dikkate alınır.

Risk kontrol V: aynada gevşeyen malzemenin uzaktan kumandalı mekanizasyon sistemi ile kaldırılması

Yeraltında maden çıkarımının önemli bir kısmı olan patlayıcı ile sökülen malzemenin kaldırılması anlamına gelen ayna faaliyeti, mevcut durumda kürek kullanımı ve operatörlü mekanizasyon sistemine sahip LHD yeraltı araçları ile gerçekleştirilmektedir. Kürek kullanımı yapan çalışanın maruz kaldığı kaza riskleri, akciğer hastalığı, ekipman yaralanması, kavlak düşmesi, fiziksel zorlanma, düşme ve göçük olarak sıralanırken; faaliyetin operatörlü mekanizasyon sistemine sahip LHD yeraltı araçları ile yapılması halinde, çalışanın ekipman yaralanması, kavlak düşmesi, fiziksel zorlanma ve düşme istenmeyen olaylarına maruz kalma ihtimalleri ortadan kalkacaktır. Akciğer hastalıkları ve göçük istenmeyen olaylarına maruz kalma ihtimallerinin ise önemli ölçüde azalması beklenir. Fakat kepçe devrilmesi ve kepçenin başka bir çalışana çarpma ihtimalleri söz konusu olabilecektir. LHD araçlarının uzaktan yönetilebilmesi de mümkün olduğundan dolayı (Gustafson ve diğ., 2013) faaliyetin operatörlü mekanizasyon ve uzaktan kumandalı mekanizasyon sistemleri ile yönetilmesi halinde, operatörün maruz kalabileceği akciğer hastalıkları ve göçük istenmeyen olaylarından etkilenme oranı daha da azalacaktır. Mekanik ve elektronik sistemle çalışan sistemin etkinliği, sisteme uygulanan bakımın etkinliğine bağlı olacaktır.

Risk kontrol VI: nakliyat işlemlerinin kontrol bazlı otomasyonla desteklenmiş mekanizasyon sistemi ile gerçekleştirilmesi

Maden işletmesinde yeraltı taşımacılık için kullanılan mevcut ekipmanlar el arabaları ile vagonlardır. Nakliyat faaliyetinin el arabaları ve vagonla gerçekleştirilmesi sırasında çalışanlar akciğer hastalıkları, ekipman yaralanması, kavlak düşmesi, fiziksel zorlanma, düşme, göçük, aracın başka bir çalışana çarpması, çalışanın üzerine malzeme düşmesi ve çalışanın vagon sebepli sıkışması gibi pek çok kaza riskine maruz kalırlar. Nakliyat işlemlerinin operatörün kontrolündeki ve otomasyon teknolojisi ile desteklenmiş lokomotif sistemleri ile (Dammers ve diğ., 2019; Öberg, 1979) gerçekleştirilmesi halinde manuel faaliyetlerle ilişkili olan kaza beklentileri ortadan kalkacaktır. Rail-veyor denilen lokomotif sistemlerinin (Dammers ve diğ., 2019; Url-9), operatörün lokomotif üzerinde konumlandırılarak sürdürülebilmesi ile, ele alınan krom madeninin nakliye faaliyetleri daha sağlıklı gerçekleştirilebilir. Lokomotif

sürücüsü olarak çalışanın, akciğer hastalıkları, düşme ve göçük kazalarını yaşama ihtimali azalırken, aracın çalışana çarpması istenmeyen olayı ihtimali ortaya çıkacaktır.

Risk kontrol VII: karakol kapısının kontrol bazlı otomasyona sahip mekanizasyon sistemi ile kontrol edilmesi

Kuyuya düşmelerle ilişkili kazaların öncül sebebi olan karakol kapısının açık kalması, tamamen sorumlu çalışan sebeplidir. Karakol kapısının, sensörlü kontrol yeteneği olan bir düzenekle kapatılması ile, çalışanın karakol kapısını açık bırakma hatasının ortadan kalkacağı öngörülür. Bu düzenek, kafes kata gelmeden kapının açılamamasını ve kapı kapatılmadan da kafesin hareket etmemesini sağlayabilir. Kafes kapısının kapalı olması gerektiği zamanlarda açık kalma ihtimalinin ortadan kaldırılması ile kafes boşluğuna düşme kazalarının da önüne geçilir. Karakol kapısı kafes kata gelip durduktan sonra otomatik olarak açılacak ve kitlenecektir. Kafese doğru ilerleyen mekanik olarak ölçümlenen kütlenin kafese yerleştirilmesi ile vagonun kafese yüklendiği anlaşılabilir ve sonrasında da çalışanın geri çekilip kafesin hareket edebilmesinin ön koşulu olan kapının kapanması için gerekli kumanda hareketi yapılabilir. Vinç operatörünün de karakol kapısının kapandığından emin olması ile birlikte ancak, kafes hareketi sağlanacaktır. Bu süreçler içerisinde çalışanın karakol kapısı ile ilgili hata yapmasına mahal verilmemiş olacaktır. Olası uygulanmaya çalışılan yanlış komutların verilmesi halinde alarm verilip, sistem otomatik olarak durabilecektir. Mekanik ve elektronik sistemle çalışan karakol kapısının etkinliği, sisteme uygulanan bakımın etkinliğine ve çalışanın faaliyet ile ilgili eğitimine bağlı olacaktır. Herhangi bir sorun çıktığı zaman sorun düzeltilmeden kafesin hareketine izin verilmeyecek ve çalışanın dikkati ile ilişkili herhangi bir unsur taşımayacaktır.

Risk kontrol VIII: oluk yükleme faaliyetinin kontrol bazlı otomasyona sahip mekanizasyon sistemi ile kontrol edilmesi

Yeraltı madeni taşımacılığının önemli bir parçası olan oluk yükleme faaliyeti, mevcut haliyle tamamen manuel sürdürülür. Bu faaliyet çalışan için İSG açısından oldukça tehlikeli süreçler içerir. Sorumlu çalışanının diğer manuel faaliyetlerde olduğu gibi, akciğer hastalıklarından etkilenmesine, ekipman yaralanması, fiziksel zorlanma, vagona sıkışma, üzerine malzeme düşmesi ve düşme istenmeyen olaylarının yaşanmasına neden olmaktadır. Oluk yükleme faaliyetinin, kontrol bazlı otomasyon eklentisi ile desteklenmiş mekanize bir sistemle sürdürülmesi sağlanabilir. Oluğa üst katlardan boşaltılan malzemelerin vagonlara otomatik olarak uygun miktarlarda

doldurulması ve oluk ağzının oluk yükleme gerçekleşince otomatik olarak kapatılması halinde operatör yalnızca faaliyetin kontrolünden sorumlu olacaktır. Böylelikle, çalışanı, büyük tehdit altında bırakan üzerine malzeme düşmesi sebepli ya da süreci manuel kontrol etmesi sebepli yaşayabileceği tüm fiziksel zorlukların ortadan kalacağı düşünülebilir. Aynı zamanda, çalışan doğrudan oluk yükleme alanının içinde olmayacağı için akciğer hastalığı ve göçük tehlikelerine maruz kalma olasılığı da azalacaktır.

Risk kontrol IX: kafes yükleme faaliyetinin kontrol bazlı otomasyona sahip mekanizasyon sistemi ile kontrol edilmesi

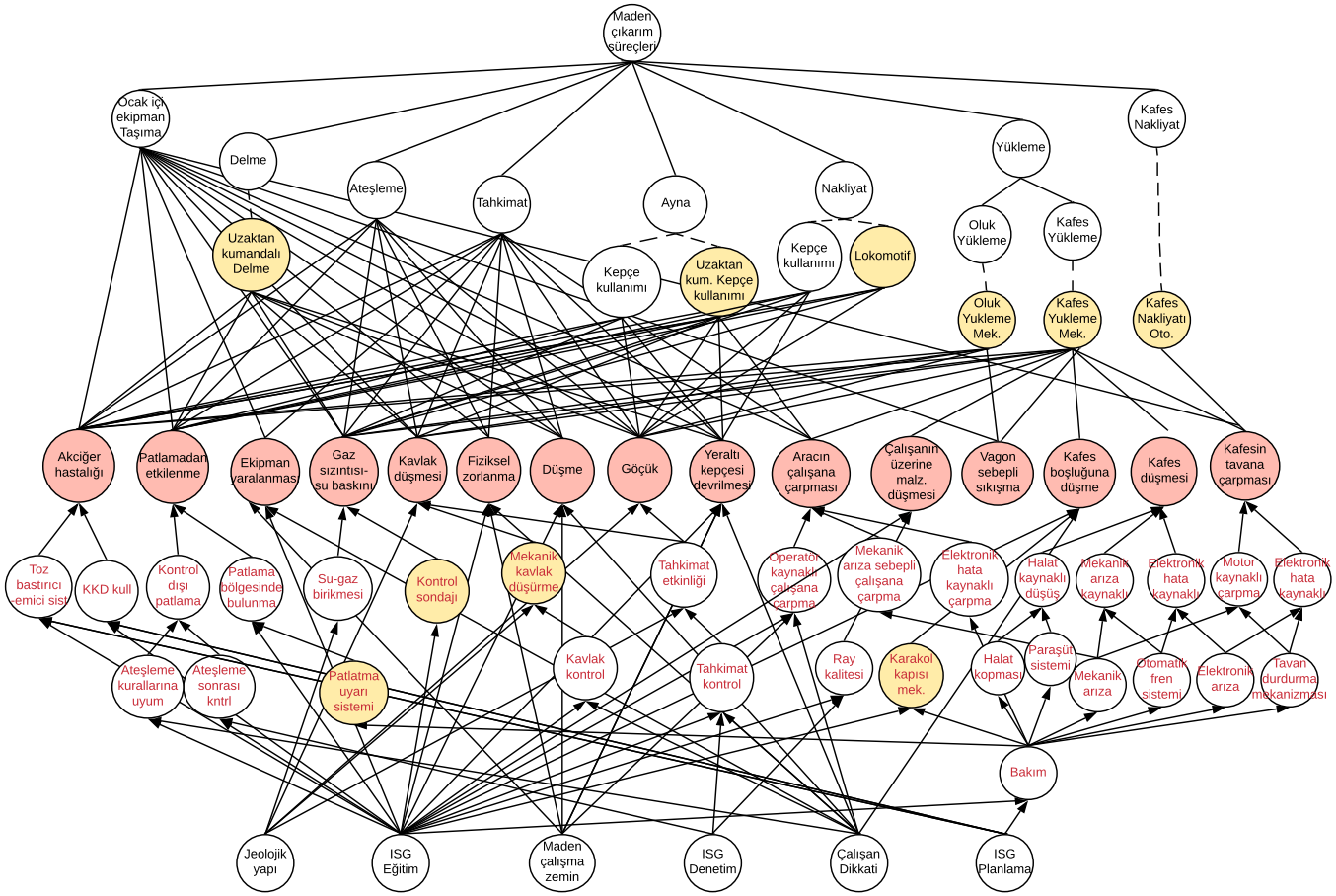
Yeraltı taşımacılığının son evresi olan kafeslere konan vagonların yeryüzüne ulaştırılması öncesinde gerçekleştirilen vagonların kafeslere yüklenmesi faaliyetleri emek-yoğun bir şekilde sürdürülür. Çalışanlar için mesleki kaza riski oldukça fazla olan bu faaliyetin, kumanda ile yönetilen bir mekanize sistemle gerçekleştirilmesi mümkün görünmektedir. Sektör metal madenlerinde kullanıldığı bilinen kumanda sistemi ile hareketi sağlanan vagonların (Url-9) yine kumanda sistemi ile kafese yerleştirilmesi sağlanabilir. İçi malzeme dolu ağır vagonların kafese itilmesi ve yerleştirilmesi sırasında, çalışan kişi çok ciddi fiziksel yaralanmalara maruz kalabilmekteyken, söz konusu faaliyetin kumanda ile yönetilen temel bir mekanize sistemle gerçekleştirilmesi halinde vagoncu manuel faaliyetlerden doğan kaza risklerinin hiçbirine maruz kalmayacaktır. Mekanik ve elektronik sistemle çalışan sistemin etkinliği sisteme uygulanan bakımın etkinliğine bağlı olacaktır.

Risk kontrol X: kafes taşıyıcı vinç sisteminin kontrol bazlı otomasyon eklentisi ile desteklenmesi

Yeraltı madeninde çıkartılan malzemelerin yeryüzüne ulaştırılmasının sağlandığı kuyu nakliyatları, kafeslerin motorlu vinç aracılığıyla hareket ettirilmesi ile gerçekleştirilir. Vinç yönetimi, tamamen operatör tarafından sağlandığı için, süreç operatör hatalarına elverişlidir. Operatör karakol kapılarının kapanıp kapanmadığı bilgisini, kat kafes operatörleri ile sesli iletişim kurarak ya da kameralar aracılığıyla gözlem yaparak edindikten sonra vinci hareket ettirir. Kafesin hangi katlara hareket edeceği bilgisi ise yine katlardaki kafes çalışanları ile vinç operatörü arasındaki iletişimle belirlenir. Vinç operatörü edindiği bilgilere dayanarak kafese hareket ve durma emrini verir. Operatörün faaliyetlerinde olası kumanda hatalarını ortadan kaldıracak, diğer bir deyişle karakol kapıları kapanmamışsa vinci hareket ettirmeyecek ve hem katlardaki kafes çalışanının hem de vinç operatörünün ancak ortak komutları ile vincin kumanda

edilmesini sağlayacak bir kontrol temelli otomasyon sistemi desteği ile operatör kaynaklı kafes kazalarının büyük ölçüde önüne geçilmiş olur. Ayrıca bu sistem halat, motor, paraşüt ve fren sistemi ile tavan durdurma mekanizması gibi tüm mekanik bölümler için, arıza ve bakım alarm destekleri de sağlayabilecektir. Mekanik ve elektronik sistemle çalışan bu sistemin etkinliği, sisteme uygulanan bakımın etkinliğine bağlı olacaktır. Böylelikle teknolojik ekipmanların kaza risklerine olan etkisinin incelenmesini sağlayacak olan risk kontrol unsurları tanımlanmış olur ve teknolojik ekipman kullanımı ile ilişkili risk kontrol seçeneklerinin ağ içinde konumlandırılması ile Şekil 5.32'de görülen ağa ulaşılır.

Her madenin işleyişi ve yapısındaki farklılıklardan dolayı kullanılan üretim yöntemleri kolaylıkla değiştirilememektedir. Ele alınan yeraltı madeni için de özellikle vagon taşımacılığının taşıdığı esnekliğe uygun farklı bir üretim yönteminin olmayacağının belirtilmesi üzerine, teknolojik ekipman önerilerinin vagonla taşımacılığa uygun olmasına gayret edilmiştir. Süreçlerin gerçekleştirilmesi ve sisteme entegre edilebilmesi mümkün farklı ekipmanlarla sürdürülmesi halinde ağa yansıyan eklentiler açıklanmış ve ağa aktarılmıştır. Otomasyon sistemlerinin donanımsal hatalar, aniden mekanik parçaları devreye sokan elektronik ve yazılımsal hatalar, bileşenlerin tasarımı ya da kontrolündeki insan hataları gibi şimdilik tahmin edilemeyen çeşitli uygulama sorunları içermesi de beklenir (Ghodrati ve diğ., 2015). Bu sebeple, otomasyon bileşenlerinin üst düzey gelişmişliklerine rağmen, bu teknolojinin entegrasyonu ve uygulamasının henüz tam anlamıyla başarılamadığı ve otomasyon sistemlerinin tasarımı ve uygulaması arasında tutarsızlıklar olduğu düşünülür. Uzaktan kumanda, tele operasyon, yarı ve tam otomasyon sistemleri her ne kadar madenlerde kullanılır olmaya başlansa da ihtiyaçları tam olarak karşıladıkları söylenmez (Ghodrati ve diğ., 2015). Otomasyon hatalarının karmaşıklığını esas alarak üretilmiş çözümler gerektiren bu alana dair apayrı çalışma kapsamları geliştirilmesi gerektiğinden, bu çalışma kapsamında en fazla parçalı otomasyon seviyesindeki teknolojik ekipmanların kullanımı ele alınmıştır. Bu yüzden ağa risk kontrol seçenekleri olarak eklenmiş olan teknolojik ekipman seçenekleri, literatürde düşük seviye otomasyon olarak ifade edilen minimum düzeydeki otomasyon teknolojileri olup, eski üretim yöntemlerine entegrasyonu sağlanabilecek uygulamalar olarak önerilmiştir. Tüm müdahale unsurları, ilgili literatür ve sektör mevcut kullanımlarının incelenmesi ile tanımlanmıştır.



Şekil 5.32 : Risk kontrol seçeneklerinin Bayes ağına dahil edilmesi.

Risk analizlerinin amacı, risk unsurunu ortadan kaldırıcı ya da ihtimalini azaltıcı stratejiler geliştirilebilmek için riskin çözümlemektir. Risk kontrol unsurları, güncellenen bağlantılarla ağa yansıtılmış ve Çizelge 5.5'te verilmiştir.

Çizelge 5.5 : Ağa ana faaliyet ekipmanı olarak eklenen risk kontrol unsurları ve ağ içindeki ilişkileri.

Eklenen unsur	Ağdaki Nitel Anlamı	İlişkili İstenmeyen Olaylar
Uzaktan kumandalı delme makinesi	Delme faaliyetinin gerçekleştirilmesinde uzaktan kumandalı mekanizasyon sisteminin kullanılması	Akciğer hastalığı Kavlak düşmesi Göçük Operatör kaynaklı çalışan yaralama Elektronik hata kaynaklı çalışan yaralama Mekanik hata kaynaklı çalışan yaralama
Uzaktan kumandalı yeraltı kepçesi kullanımı	Ayna faaliyetinin uzaktan kumandalı yeraltı kepçesi ile gerçekleştirilmesi	Akciğer hastalığı Kavlak düşmesi Göçük Operatör kaynaklı çalışan yaralama Elektronik hata kaynaklı çalışan yaralama Mekanik hata kaynaklı çalışan yaralama
Lokomotif	Madenin nakledilmesi faaliyetinin operatörlü mekanizasyon sistemine sahip lokomotif ile gerçekleştirilmesi	Akciğer hastalığı Kavlak düşmesi Göçük Operatör kaynaklı çalışan yaralama Mekanik hata kaynaklı çalışan yaralama
Otomatik oluk yükleyici	Oluk yükleme faaliyetinin otomasyon sistemi ile desteklenmesi	Akciğer hastalığı Kavlak düşmesi Göçük Elektronik hata kaynaklı çalışan yaralama Mekanik hata kaynaklı çalışan yaralama
Otomatik kafes yükleyici	Kafes yükleme faaliyetinin otomasyon sistemi ile desteklenmesi	Akciğer hastalığı Kavlak düşmesi Göçük Elektronik hata kaynaklı çalışan yaralama Mekanik hata kaynaklı çalışan yaralama
Otomatik vinç sistemi	Kafes nakliyatının otomasyon sistemi ile kontrol edilmesi	Kafes boşluğuna düşme Kafes düşmesi Kafesin tavana çarpması

Ağa ara olay ekipmanı olarak eklenen risk kontrol unsurları ve ağ içindeki nedensel ilişkileri de Çizelge 5.6'da verilmiştir.

Çizelge 5.6 : Ağa ara olay ekipmanı olarak eklenen risk kontrol unsurları ve ağ içindeki ilişkileri.

Eklenen Risk Kontrol Seçeneği	Ağdaki Nitel Anlamı	Durum	Ebeveyn Düğümü	Çocuk Düğümü
Otomatik karakol kapısı	Kafes önü karakol kapısının otomasyon sistemi ile kontrol edilmesi	Açık Kapalı	Bakım İSG Eğitim	Kafes boşluğuna düşme
Patlatma uyarı sistemi	Ateşleme faaliyetinde yapılan patlatma uyarısının otomatik yapılması	Yeterli Yetersiz	Bakım	Patlatma bölg. bulunma
Kontrol sondajı	İlerlemelerden önce ilgili ekipman aracılığıyla kontrol sondajının yapılması	Yeterli Yetersiz	Bakım İSG Eğitim İSG Planlama	Gaz sızıntısı – su baskını
Mekanik kavlak düşürme	Kavlak düşürme faaliyetinin mekanizasyon tekn. Sahip kavlak düşürme ekipmanı ile yapılması	Yeterli Yetersiz	Bakım İSG Eğitim Çalışan dikkati	Kavlak düşürme

5.3 Ağ Parametrelerinin Belirlenmesi

Çalışma kapsamında, yeraltı madeni faaliyetleri süresince meydana gelebilecek kazalara dair risk analizi yapabilmek üzere Bayes ağı oluşturulmuştur. Kazalar ve nedenlerine dair tüm değişkenler aralarındaki ilişkiler ile birlikte tanımlanmıştır. Risk önleme stratejileri geliştirebilmek için çeşitli incelemeler yapılmasına imkân sağlayacak analiz temelleri oluşturulmuştur.

Bayes Ağları Analizi, belirtildiği gibi nitel ve nicel iki aşamadan oluşmaktadır. Çalışmanın bu aşamasına kadar, analize dair önemli nitel incelemeler yapılmıştır. İncelemeler sonunda ortaya çıkan nitel bulgular aşağıdaki gibidir:

- Yeraltı madeninde çalışanlara zarar verme ihtimali bulunan faaliyetlerin tanımlanması,
- Belirlenen faaliyetler kapsamında meydana gelme ihtimali bulunan iş kazası niteliğindeki tüm istenmeyen olayların tanımlanması,
- Belirtilen istenmeyen olayların meydana gelme nedenlerinin ortaya çıkarılması,
- Tüm istenmeyen olay ve nedenlerini gösterir grafiksel haritaların ve Bayes ağının oluşturulması,
- Faaliyetler kapsamında kullanılabilecek farklı otomasyon teknolojilerinin araştırması ve teknoloji seviyelendirilmesi,
- Maden ekipmanlarının belirlenen teknoloji seviyeleri altında sınıflandırılması,
- Faaliyetlerin farklı teknoloji seviyelerindeki maden ekipmanlarıyla sürdürülebilirliklerinin incelenmesi,
- Belirlenen teknolojik ekipmanların ağa eklenerek, faaliyetler kapsamındaki istenmeyen olay durumlarının güncellemesi.

Yeraltı madeni mesleki güvenlik risk analizi kapsamında nicel incelemeler ve belirlemeler yapabilmek için yukarıda belirtilen tüm nitel araştırmalar kapsamlı bir ağın oluşturulmasını sağlamıştır. Çalışmanın nicel aşamasında ihtiyaç duyulanlar ise değişkenler arasındaki ilişkilerin gücünü gösterir şartlı olasılıkların ve incelenen olayların meydana gelmesindeki kök nedenlerin öncül olasılıklarının belirlenerek ağ parametrelerinin ortaya çıkarılmasıdır.

Ağ parametrelerini ortaya çıkarabilmek için sayısal verilerin yeterli olmaması nedeniyle, uzmanlardan yararlanılması kabul edilir. Bilimsel olarak endişe veren bir durum olarak kabul edilse de özellikle nadir olaylara dair istatistiklerin belirlenmesinde, geçmiş verilere güvenmek hatalı değerlendirmelere neden olacağından, olasılık parametrelerinin belirlenmesi için uzman görüşleri kullanılır (Laitila, 2013). Belirtilen nadir olaylar, inceleme yapabilmek için yeterli veri geçmişi sunmayan olaylar anlamına da gelmektedir. Analiz sonrasında kontrol edebilmek üzere, yeraltı madeni faaliyetleri süresince çalışanlara zarar verme ihtimali bulunan belirlenen 15 istenmeyen olayın, uzmanlarca, kayıtlardan bağımsız olarak yaşanma sıklıkları dilsel ifadelerle Çizelge 5.7'deki gibi belirtilmiştir.

Çizelge 5.7 : Çalışmada ele alınan kazaların uzmanlarca belirtilen sıklıkları.

İstenmeyen Olay	Yaşanma Sıklığı	Karşılığı
Akciğer rahatsızlığı	Çok sık	Her çalışan neredeyse her gün bu iş kazasının mağduru bir çalışana rastlıyor
Patlatmaya maruz kalma	Çok seyrek	Her çalışan çalışma hayatı boyunca tesadüfen bir kez bu iş kazasının mağduru bir çalışana rastlıyor
Ekipman yaralanması	Çok sık	Her çalışan neredeyse her gün bu iş kazasının mağduru bir çalışana rastlıyor
Gaz sızıntısı -su baskını	Çok seyrek	Her çalışan çalışma hayatı boyunca tesadüfen bir kez bu iş kazasının mağduru bir çalışana rastlıyor
Kavlak düşmesi	Çok sık	Her çalışan neredeyse her gün bu iş kazasının mağduru bir çalışana rastlıyor
Fiziksel zorlanma	Çok sık	Her çalışan neredeyse her gün bu iş kazasının mağduru bir çalışana rastlıyor
Düşme	Çok sık	Her çalışan neredeyse her gün bu iş kazasının mağduru bir çalışana rastlıyor
Göçük	Seyrek	Her çalışan çalışma hayatı boyunca birkaç kez bu iş kazasının mağduru bir çalışana rastlıyor
Kepçe devrilmesi	Seyrek	Her çalışan çalışma hayatı boyunca birkaç kez bu iş kazasının mağduru bir çalışana rastlıyor
Aracın operatör sebepli çalışana çarpması	Sık	Her çalışan neredeyse birkaç haftada bir bu iş kazasının mağduru bir çalışana rastlıyor
Aracın mekanik arıza sebepli çalışana çarpması	Nadir	Her çalışan çalışma hayatı boyunca bu iş kazasının mağduru bir çalışan olduğunu sadece duyuyor
Çalışanın üzerine malz. düşmesi	Sık	Her çalışan neredeyse birkaç haftada bir bu iş kazasının mağduru bir çalışana rastlıyor
Vagon sebepli sıkışma	Sık	Her çalışan neredeyse birkaç haftada bir bu iş kazasının mağduru bir çalışana rastlıyor
Kafes boşluğuna düşme	Çok seyrek	Her çalışan çalışma hayatı boyunca tesadüfen bir kez bu iş kazasının mağduru bir çalışana rastlıyor
Kafes düşmesi	Nadir	Her çalışan çalışma hayatı boyunca bu iş kazasının mağduru bir çalışan olduğunu sadece duyuyor
Kafesin tavana çarpması	Nadir	Her çalışan çalışma hayatı boyunca bu iş kazasının mağduru bir çalışan olduğunu sadece duyuyor

Çizelge 5.7'den anlaşıldığı gibi, yeraltı madeninde meydana gelen 15 farklı iş kazasından 3 tanesi nadir olarak belirtilmiştir. 2 tanesi çok seyrek, 3 tanesi seyrek, 3 tanesi sıkça ve 4 tanesi ile de çok sık karşılaşıldığı sunulmuştur. Nadir, çok seyrek ve seyrek olarak ifade edilen kazalar için uzmanların görüşlerinden de anlaşıldığı üzere

anlamlı sonuçlar çıkarılabilecek veri kaynağına ulaşılamayacağı anlaşılmaktadır. Sık ve çok sık olarak ifade edilen kazaların ise istatistiksel olarak yeterli miktarda veri sunmaları beklenmesine rağmen, bu tür kazaların, sonuçları çalışanların iş göremez raporu almasına neden olacak kadar şiddetli olmadığı için iş kazası olarak çoğunlukla kayıtlara işlenmeyen olaylar olduğu anlaşılmıştır. Dolayısıyla bu çalışmada tüm bu kazalara dair uzman görüşleriyle de olsa dahi istatiksel analiz yapılması ve kazaların yakından incelenerek, yeraltı madenindeki mevcut kaza risklerinin sayısallaştırılması planlanmıştır.

Ağ içerisindeki değişkenlerin olasılık dağılımlarının belirlenmesi için uzmanlardan yararlanılacağı için, bu ağ çalışmasına "sübjektif Bayes" denir. Yargıların sübjektif doğasının gizlenmemesi veya reddedilmemesi gerekir (O'Hagan ve diğ., 2006). Bayes ağının nicel analizinde, değişkenlerle ilişkili olasılık parametrelerinin uzman yargılarıyla belirlenmesi, Bayes Ağları Analizi'nin en fazla uzmanlık gerektiren aşamalarından biridir. Uzman yargılarından değişkenler arasındaki ilişkilerin çıkarımlanması sürecinin dikkatlice yapılmaması, zayıf kalitede grafik modellerin ortaya çıkmasıyla sonuçlanabilir (Wang, 2004). Dolayısıyla öncellikle, uzmanların olasılık konusundaki bilgi ve birikimleri sorgulanacak, olasılık çıkarımı için uygun yöntem belirlemesi yapılacak ve tutarlılığını sürekli kontrol ederek, olasılık çıkarımları yapılacaktır. Hesaplamaların yapılabilmesi için gerekli son parametre olan kök nedenlerin öncül olasılıklarının da belirlenmesinin ardından, analiz sonuçları sunulabilecektir.

5.3.1 Uzmanların olasılık çıkarımları konusunda bilgilendirilmesi

Yeraltı madenciliğinde çalışanların zarar görmelerine sebep olabilecek tüm kazaların ve bu kazaların meydana gelmelerine yol açan tüm sebeplerin Bayes ağına yansıtılması, belirlenen üç uzmanın bilgi ve deneyimlerini aktarması ile sağlanmıştır. Bayes Ağları Analizi'nin nitel kısmı, uzman yargılarının sorgulanmasıyla ortaya çıkarılmıştır. Fakat analizin nicel kısmına gelindiğinde uzmanlara, olasılık kavramını bilmelerini gerektiren nicel sorgulamalar yapılacağı için uzmanların olasılık konusunda bilgilendirilmesi gerekmektedir.

Uzmanların olasılıkla ilgili matematiksel notasyonlara yabancı oldukları varsayılıp, metodoloji bölümünde belirtilmiş olan temel olasılık aksiyomları sunulmuştur. İki mühendis uzmanın olasılıkla ilgili temel bilgilere sahip olduğu, fakat daha önce

bilimsel veri kaynağı olacak şekilde hiç olasılık çıkarımı yapmadıkları anlaşılmıştır. İşçi olan üçüncü uzmanın ise sektörde 30 yılı aşkın deneyimi olmasına rağmen olasılık kavramına tam olarak hâkim olmadığı anlaşılmıştır. Dolayısıyla uzmanlarla birlikte olasılık aksiyomlarının her biri tek tek tartışılmış ve anlayıp, pekiştirmeleri sağlanmıştır.

Şartlı meydana gelen olaylara dair koşullu olasılıkların anlaşılması için ikinci bölümde kapsamlı olarak anlatılan "risk analizinde olasılık" ve "şartlı olasılık ve Bayes Teoremi" başlıkları altındaki bilgiler uzmanlara aktarılmıştır. En fazla tekrarlı soruların 'A olayı gerçekleşmişse, B olayının gerçekleşme olasılığı nedir?' şeklindeki sorular olduğu belirtilmiştir. Uzmanların olasılıkları çıkarımlarken, olasılığı 0-1 arasında bir değer olarak değil de 0-100 arasında yüzde birimiyle yorumlamalarının çözümlemeyi hızlandırdığı anlaşılmıştır.

Uzmanlara yöneltilen sorular doğrudan olasılıksal olarak tanımlayabilecekleri bir olay olmasa da meydana gelişine dair başka olaylarla birlikte nedensel ilişkileri ile ifade edilerek olayın olasılığını daha emin bir şekilde öngörebilecekleri farklı türde sorgulamalar yapılabileceği taraflarına bildirilmiştir. Çünkü uzmana sorgulanan olayı, aşina olduğu şekilde yöneltmek en doğru yaklaşım olacaktır. Hangi olaylara aşina olup olmadıkları da çalışmada ele alınan kazalara dair belirttikleri sıklıklara bakarak anlamak mümkündür. Örneğin çok sıklıkla yaşandığı belirtilen ekipman yaralanması, düşme ve fiziksel zorlanma kazalarına, diğer tüm kazalardan daha fazla aşina oldukları kuşkusuzdur. Fakat yaşanma sıklığı nadir ve çok seyrek olarak ifade edilen kazalara dair sorgulama yaparken çok daha ayrıntılı anlatımların gerçekleştirilmesi gerekecektir.

Uzmanlara aktarılması gereken bilimsel prensipler de kısaca tartışılmış ve çalışmaya veri kaynağı olma yönündeki motivasyonları yinelenmiştir. Uzmanlar, analizi yapabilmenin tek yolu olacak şekilde onlara danışıldığının farkındadırlar. Çalışmaya dair çıkarlarının ellerinden geldiği kadar doğru veriler sunarak, tüm ilgili camiaların yeraltı madenciliği iş güvenliği konusundaki farkındalığını arttırma amacındaki çalışmanın gerçekleştirilmesine katkıda bulunmak olduğu anlaşılmıştır. Çalışma sonrasındaki olası tüm olumsuz yargılamaların çalışma sahibinin sorumluluğunda olduğu taraflara aktarılmıştır. Verilerin açıkça sunulması hakkında da herhangi bir endişeye sahip olmadıkları anlaşılmıştır.

Uzmanların, olasılık çıkarımı süreci öncesinde bilgilenmeleri gereken önemli bir konu da sezgisel hatalardır. Konuyla ilgili farkındalıkları sağlandığı takdirde, sezgisel yargılama sürecinin, insan düşünce yapısının kolayca düşebildiği hatalara karşı, daha sağlıklı performans göstereceği düşünülür. Bu sebeple uzmanlara, metodoloji bölümünde anlatılmış olan, çıkarımlar konusunda doğru yanıtın bulunmadığını, yalnızca kendi fikirlerinin tespit edilmesine ihtiyaç duyulduğu, çıkarım yaparken, olayla ilgili yaşanan son deneyimlerinin değil tüm deneyimlerinin göz önüne alınması gerektiği ve sorgulanan unsurların olabildiğince gerçeğe uygun ve objektif görüşleri sunması gerektiği belirtilmiştir.

Uzmanın düşünsel yanıtlarını sunabilmesi için görsel-grafiksel olasılık çıkarım araçlarından yararlanılacak ve doğrudan çıkarım yöntemi ile olasılık değerleri toplanacaktır. Uzmanlar çıkarım sürecinde, yargılarını belirlerken kullanabilecekleri olasılık ölçeklerinden yararlanabilecekler ya da olasılık çıkarımlarını doğrudan sunacaklardır. Doğrudan çıkarım yöntemi, her çalışma için hatta her sorgulama için farklı bir sunum kazanabileceği için, önemli olan çıkarım süreci ile gerçekçi verilerin elde edilmesidir.

Çıkarım sürecinin uzun, yorucu ve sıkıcı olmaması için istenildiği zaman çıkarım sürecine ara verilebileceği uzmanlara aktarılmıştır. Çalışma konusunun hassaslığı sebebiyle, çıkarım sürecine dair en önemli performans beklentisinin sonuçların tutarlılığı, diğer bir deyişle gerçeği yansıtması olduğu ifade edilmiştir. Özellikle çıkarım sürecinin uzun sürmesi halinde, yine de çalışma için toplanan verilerin tutarlı olmasından asla ödün verilmemesi gerektiği de uzmanlara aktarılmıştır.

Bundan önceki aşamalarda belirlenen kazalara ve ilişkili olaylara dair olasılıksal sorgulamalar ve belli şartlarla sunulan olaylara karşılık gelen olasılık değerlerinin tespiti için uzmanların bilgi sahibi olduklarından emin olunur. Böylelikle, olasılık çıkarımı için hangi çıkarım metodunun kullanılacağı incelenmeye başlanabilir.

5.3.2 Olasılık çıkarımları için mevcut yöntemlerin sorgulanması

Bir yeraltı madeninde hangi faaliyet kapsamında, hangi çalışanın, hangi süreç içindeyken, güvenliği ve sağlığı ile ilişkili hangi istenmeyen olayı yaşayacağını öngörebilmek, çıkarımların en anlamlısı olarak kabul edilebilir. Günümüz teknoloji çağı ve endüstriyel gelişmişlik düzeyinde, halen insanların yüksek risk altında faaliyet gösterdikleri yeraltı madenlerindeki güvenlik ile ilişkili tüm olaylara dair risk

incelemelerinin yapılması, uzmanlar tarafından da ele alınmakta geç kalınmış bir konu olarak görülmüştür.

Çalışmanın en zorlu yanının olasılık çıkarımlarının gerçekleştirilmesi olduğunu söylemek mümkündür. Çalışma için belirlenen veri çıkarım metodu, metodoloji bölümünde kapsamlı olarak anlatılmıştır. Seçilen uzmanların çalışma için uygunluğuna, literatürdeki çıkarım yöntemlerinin uygunsuzluğuna ve oluşturulan çıkarım yönteminin genel özelliklerine dair gerekli bilgiler maddeler halinde sunulmuştur:

- Çalışma için seçilen uzmanların deneyim ve bilgi birikimleri, risk analizine dair hem nedensel çıkarımlar hem de olasılıksal çıkarımları konusunda güvenilir veri kaynağı olarak kabul edilmiştir. Uzmanların olasılık çıkarımı konusunda yeterli bilgiye ve motivasyona sahip olduklarından emin olunmuştur.
- Uzman yargılarından olasılık çıkarımlama için çeşitli yöntemler vardır, fakat her çalışma için en uygun olasılık çıkarım metodu değişkenlik gösterebilir. Çalışma kapsamında belirlenmesi gereken pek çok olasılık-değer çifti vardır. Olayların, birtakım olaylara bağlı meydana gelme olasılıklarının sorgulanması, değer olasılığı çözümlemesi olarak da nitelendirilebilir. Literatürdeki çıkarım metotları çeşitliliği altında, olayların gerçekleşip gerçekleşmemesine dair araştırılacak olasılıksal unsurlar için, 'sabit değişkene bağlı olasılık belirleme yöntemi' kullanılacaktır.

Olasılık çıkarımları için literatür yöntemlerinin uygunluğu uzmanlarla sorgulanmıştır:

- Sorgulanacak çok fazla unsurun olması, sınırlı değerlendirme seçenekleri (3-5 ya da 7) sunan bir olasılık ölçeğin kullanımını yetersizleştirmektedir. Böyle bir ölçek kullanımı, uzmanların yanıtlarının benzer olmasına neden olacaktır. Bu yüzden olasılık çıkarımları için sınırlı değerlendirme seçenekleri sunan bir olasılık ölçeği temel araç olarak kullanılmayacaktır.
- Her bir olasılık çıkarımı için, uzmanın defalarca sorgulama yapmasını gerektiren, olasılık çarkı yöntemi uzmanlara anlatılmış ve örnek bir uygulama yapılmıştır. Uzmanlar tarafından yorucu bulunması sebebiyle çalışma için en uygun olmayan yöntem olarak değerlendirilir. Uzmanların çıkarım süreci boyunca konforlu bir şekilde çıkarım yapması çok önemlidir.

- Literatürde sıkça kullanılan Delphi yöntemi ise, uzmanların sezgisel hatalarını aynı sorgu ile ilişkili diğer görüşleri baz alarak düzenleyebilme fırsatı bulmaları sebebiyle, fikirlerin karşılaştırılması için avantaj sağlasa da bu yöntem ancak, olasılık çarkı yöntemi için de belirtildiği gibi az sayıdaki çıkarımlı çalışmalar için önerilebilir.

Literatürdeki çıkarım yöntemlerinin, çalışma için doğrudan kullanımının yetersiz kalmasından dolayı, çalışma kapsamında geliştirilen yöntem aşağıda belirtilmiştir:

5.3.3 Analist tarafından ilişkili karşılaştırmalarla tutarlılığı kontrol edilen, grupsal doğrudan olasılık çıkarım yöntemi

- Çalışma kapsamında olasılık çıkarımları, doğrudan yöneltilecek soru ve doğrudan alınacak grup cevaplarıyla, etkileşimli olarak sürdürülecektir. Böylelikle çoklu sorguların, uzmanlara olasılık çıkarım konforlarını kaybettirmeyecek şekilde, grup kararları ile çıkarımlanması sağlanarak, sorgulama optimum süre içinde tamamlanabilecektir. Çalışma boyunca tüm süreçlerde esnek olunacak ve istenildiği zaman çalışmanın istenildiği noktasına geri dönülebilecektir.
- Uzmanların olasılık çıkarım sürecini sıkılmadan ve tutarsız cevaplar vermeden tamamlayabilmeleri için, kendileri hiçbir şekilde sorularla dolu bir listeyle ve olasılık çıkarım aracı ile baş başa bırakılmayacaklardır. Olasılık çıkarımına dair tüm aşamalar analist yöneticiliğinde beraberce tamamlanır.
- Uzmanlara, olaylara dair olasılık yargılarını aktarırken, yanıtlarını ondalık, yüzdelik ve bindelik sayılarla çeşitli formlarda verebilecekleri ifade edilmiştir. Yanıtlarının doğruluğunu kontrol etmek için aynı soruların taraflarına farklı formlarda tekrar yöneltilebileceği belirtilmiştir. Yanıtlar sunulurken, uzmanların kullanabilecekleri cevap biçimleri aşağıdaki gibidir:
    - 0-1 aralığında herhangi bir olasılık değeri,
    - 0-100 aralığında herhangi bir yüzde değeri,
    - 100 olay içerisinden x tanesi ifadeleri ve
    - 100 işçiden x tanesi ifadeleri.

- Uzmanlar doğrudan çıkarım yaparken, Şekil 4.4'te sunulan olasılık ölçeklerinden yararlanabileceklerdir. 0-1 aralığındaki olasılık değerlerini sözel ifadelerle sunan ölçek, Van der Gaag ve diğ. (2002) ve Hänninen ve diğ. (2014a) göre de üzerinde 7 sözlü olasılık değerine sahip oldukları için en kullanışlı oldukları düşünülen ölçeklerdir. Uzmanlar değişkenlere dair olasılık çıkarımı yaparken, ölçekten olasılık değerlerine dair fikir alacak, bilişsel olarak ölçeği istediği kadar detaylandırabilecek, ölçek üzerinde işaretleme yapıp, notlar alıp kendisine dair tutarlılık kontrolleri yapabilecektir.
- Uzmanların çıkarımlaması gereken çok fazla olasılık değeri olduğu için her birin işaretlenmesi zorundalığı yoktur. Olasılık değerleri ilişkisel olarak farklılaştırılmak istendiğinde olasılık ölçeğine bağımlı kalma zorundalığı da yoktur.
- Uzmanlara 0 ve 1 değerlerine yakın olasılıklar hakkında bilgilendirmeler Şekil 4.4'te verilen ölçekleriyle birlikte yapılmıştır.
    - 0,01: Olayın, gerçekleşmeyeceği beklenir, fakat tam belirlenemese de gerçekleşmesi için çok küçük bir ihtimal olabilir.
    - 0,99: Gerçekleşeceği beklenir, fakat tam belirlenemese de gerçekleşmemesi için çok küçük bir ihtimal olabilir.
    - 0 ve 1'e daha fazla yakınsayan olasılık değerlerinin kullanılması gerektiğinde 0,001 ve 0,999 değerlerinin kullanılabileceği ve gerektiği ölçüde bu değerlerin çeşitlendirilebileceği uzmanlara belirtilmiştir.
- Uzmanların doğrudan çıkarım yaparken, olasılık ölçeğinden yararlanmaları sağlanarak, değerlendirmelerini karşılaştırma ve doğrulama fırsatı yaratılmış olacaktır. Değişkenler arasındaki nicel ve nitel ilişkiler için Van der Gaag ve diğ. (2002)'nin çalışmasında da kullanılmış olan sezgisel yönlendirmelerden yararlanılmıştır.
- Sorgulaması yapılacak unsurların çok olması sebebiyle, karşılaştırma olgusunun performans arttırıcı yeteneğinden yararlanılarak, sorgulamalar mümkün olduğu kadar ilişkili olarak yapılacaktır. Böylelikle, cevap tutarlılıkları da sürekli kontrol edilerek, çıkarımların en etkin süre içerisinde tamamlanması planlanmıştır. İlişkili sorgulamalar uzmanın olasılık çıkarımına

dair yargısını sunduğunda, bu değere yakın olan daha önceki değeri yansıtan olaylar, kıyaslama için tekrarlı olarak yöneltilecektir.

- Çıkarımların tutarlılık kontrolleri analist tarafından uzmana yöneltilen ilişkisel sorgulamalarla sağlanır.

5.3.4 Şartlı olasılık tablolarının oluşturulması

Yeraltı krom madeni kaza ağı ve kapsamındaki nitel incelemelerden sonra, analize dair nicel hesaplamaların yapılabilmesi için değişkenler arasındaki ilişkileri sayısallaştıran verilerin elde edilmesi aşamasıdır. Şartlı olasılıklar çalışmanın ikinci bölümünde de anlatıldığı gibi, birbiri ile doğrudan etkileşim içinde olan olayların birbirilerini etkileme gücünü yansıtır ve çalışma bulgularının kalitesini belirleyen en önemli unsurlardandır.

Riskle ilişkili olayların birbirlerine bağlı meydana gelme olasılıklarının belirlenmesi için yeterli sayıda geçmiş veri olmadığı için uzman görüşlerinden yararlanılmıştır. Veri çıkarımlama sürecini kontrol edebilmek için, şartlı olasılık tablolarının oluşturulması, ele alınan kazalar bazında ayrı başlıklar altında yapılmıştır.

5.3.4.1 Akciğer rahatsızlığı

Uzmanlar tarafından, yeraltı madeninde mekanizasyon sistemle sürdürülen delme faaliyeti sırasında, çalışanlar kişisel koruyucu kullanmamaları ve gerçekleştirilen faaliyetlerin toz bastırıcı sistem olmadan sürdürülmesi sebebiyle ortaya çıkan aşırı tozdan, akciğer rahatsızlığı yaşamaktadırlar.

Şekil 5.12'de verilen hata ağacı ve Şekil 5.27'de gösterilen Bayes ağında görüldüğü gibi akciğer rahatsızlığının nedenleri, 'Toz bastırıcı sistem kullanımı' ile 'KKD kullanımı'dır. Bu iki ara olayın 'akciğer rahatsızlığı' istenmeyen olayına etkisi için uzmanlarla gerçekleştirilen sorgulama süreci aşağıdaki gibi oluşmuştur:

En kötü senaryo sorgulama:

- Yeraltı madenlerinde çalışanların sıklıkla yaşadıkları 'akciğer rahatsızlığı' nın sebepleri, 'toz bastırıcı sistem kullanımı' ve 'KKD kullanımı' olarak kabul ediliyor. Bu iki önleyici unsurun da kullanılmaması durumunda bu istenmeyen olayın meydana gelme ihtimali kaçtır?

Cevap: Belirtilen iki donanımın kullanımı, ilgili rahatsızlıkların yaşanmaması için alınan önlemleri ifade etmektedir. Bu iki ekipmanın kullanımı ile gerekli önlemlerin alınmaması durumunda, aşırı toz ortamına maruz kalacak olan çalışanın %90 bir akciğer rahatsızlığına yakalanabileceği söylenebilir.

Tutarlılık kontrol:

- Belirtilen şartlarda çalışan bir işçinin, büyük ihtimalle ilgili rahatsızlığa yakalanacağını düşünüyorsunuz. Peki, bu olasılık değeri için %100 ya da %99 gibi 1-kesin değerine daha yakın bir olasılık değeri sunulmamasının sebebi nedir?

Cevap: Kişinin sahip olduğu fiziksel yapıya göre değişen seviyelerde akciğer rahatsızlığına yakalandıkları görülse bile, madencilik deneyimine sahip çalışanların bazılarının da herhangi bir rahatsızlığa yakalanmadığı da gözlenmiştir. Dolayısıyla, 100 çalışan belirtilen donanımsız şartlarda çalışsa, yaklaşık 10 tanesinin bu tozdan etkilenmeyeceği kabul edilebilir.

Çıkarım: Çalışan bu iki materyali de kullanmadan faaliyetlerini sürdürüyorsa, akciğer rahatsızlığına %90 maruz kalacaktır. Fakat %10 da olsa tozdan akciğer rahatsızlığı yaşayacak kadar etkilenmeme ihtimali de vardır. Böylelikle, olasılıksal çıkarımı denklem 5.1'deki gibi belirtilir:

$$\begin{aligned} P\left(Akciğer\ rah._{Hayır} \middle| Toz\ bas.su\ sis.\ \ kull._{Hayır}, KKD\ kull._{Hayır}\right) &= 0.1 \\ P\left(Akciğer\ rah._{Evet} \middle| Toz\ bas.su\ sis.\ \ kull._{Hayır}, KKD\ kull._{Hayır}\right) &= 0.9 \end{aligned} \quad (5.1)$$

En iyi senaryo sorgulaması:

- Çalışanın her iki önleyici donanımı da kullanması halinde, herhangi bir akciğer rahatsızlığına yakalanma ihtimali ortadan kalkar mı?

Cevap: Her iki önlemin de alınması durumunda çalışan için söz konusu akciğer rahatsızlığı ihtimali tamamen ortadan kalmayacaktır. Fakat %99 ihtimalle herhangi bir akciğer rahatsızlığına yakalanmayacağı düşünülebilir.

- Önlemlerin alınmasına rağmen maden çalışanlarının akciğer meslek hastalıklarına %1 de olsa yine de yakalanma ihtimalinin var olmasının nedeni nedir?

Cevap: Yeraltı madeni faaliyetlerinin doğasında var olan tozlu yapı, çalışanların herhangi bir akciğer rahatsızlığına yakalanmaması için tüm önlemler alınsa da yine de meslek hastalığına yakalanma ihtimalini ortadan kaldırmaz. Maden çalışanlarının hafif ya da ciddi düzeyde akciğer hastalıklarının olması gözlenen bir durumdur. Dolayısıyla, önlemler alınsa bile, yeraltında çalışmak, akciğer rahatsızlığı yaşanması ihtimalini yaratan ana nedendir. Bu yüzden önlemler %99 oranında çalışanı koruyacakken, %1 ihtimalle koruyamayacaktır.

Çıkarım: Olasılık çıkarımları denklem 5.2'de belirtildiği gibi yapılacaktır:

$$P\left(Akciğer\ rah._{Hayır} \middle| Toz\ bas.su\ sis.\ \ kull._{Evet}, KKD\ kull._{Evet}\right) = 0.99$$
$$P\left(Akciğer\ rah._{Evet} \middle| Toz\ bas.su\ sis.\ \ kull._{Evet}, KKD\ kull._{Evet}\right) = 0.01 \quad (5.2)$$

Diğer durum kombinasyonları sorgulaması:

- Belirtilen önlemlerden yalnızca KKD kullanımının sağlanması durumunda, çalışanın akciğer rahatsızlığına yakalanma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: İki donanımını da kullanmaması durumunda %90 ihtimalle maruz kalacağı düşünülürken, yalnızca KKD kullanımını sağlaması durumunda çalışanın akciğer rahatsızlığına yakalanma ihtimalinin %50'ye düşeceği söylenebilir.

- Belirtilen önlemlerden yalnızca toz bastırıcı su sistemi kullanarak gerçekleştirilen faaliyetler sonucunda ortaya çıkan tozun azaltılmasının sağlanması halinde, çalışan KKD kullanmasa bile, akciğer rahatsızlığına yakalanma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Faaliyetler sırasında toz bastırıcı bir sistemin kullanılması çalışanları önemli ölçüde koruyacaktır. Fakat çalışanların, soludukları havada, toz partiküllerinin madenin doğası gereği var olması sebebiyle KKD kullanılmaması durumunda yarı yarıya ihtimalle akciğer rahatsızlığı yaşayacağı söylenebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık çıkarımı denklem 5.3'te görüldüğü gibi yapılır:

$$P\left(Akciğer\ rahatsızlığı_{\ Hayır} \middle| Toz\ bas.su\ sis.\ \ kull._{Hayır}, KKD\ kull._{Evet}\right) = 0.5$$
$$P\left(Akciğer\ rahatsızlığı_{\ Evet} \middle| Toz\ bas.su\ sis.\ \ kull._{Hayır}, KKD\ kull._{Evet}\right) = 0.5$$
$$P\left(Akciğer\ rahatsızlığı_{Hayır} \middle| Toz\ bas.su\ sis.\ \ kull._{Evet}, KKD\ kull._{Hayır}\right) = 0.5$$
$$P\left(Akciğer\ rahatsızlığı_{Evet} \middle| Toz\ bas.su\ sis.\ \ kull._{Evet}, KKD\ kull._{Hayır}\right) = 0.5 \quad (5.3)$$

Tutarlılık kontrol:

- Faaliyet süresince ortaya çıkan tozu bastırmak mı, yoksa KKD kullanımı mı çalışanların akciğer rahatsızlığına yakalanmaması konusunda daha önemlidir?

Cevap: İki donanımın etkisini de eşit kabul etmek mümkündür. Çünkü ikisi birbirini tamamlayan önlemlerdir.

Yapılan sorgulamalar sonrasında, 'Akciğer rahatsızlığı' için şartlı olasılık tablosunu Çizelge 5.8'deki gibi oluşturmak mümkündür:

Çizelge 5.8 : Akciğer rahatsızlığı' düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Toz bastırıcı su sistemi	Evet		Hayır	
KKD kullanımı	Evet	Hayır	Evet	Hayır
Hayır	0,99	0,5	0,5	0,1
Evet	0,01	0,5	0,5	0,9

5.3.4.2 Toz bastırıcı sistem kullanımı

'Toz bastırıcı su sistemi kullanımı ile, akciğer rahatsızlığı istenmeyen olayının kök nedenleri olan 'İSG Eğitimi' ve 'İSG Planlama' arasındaki ilişkinin belirlenmesi için uzmanlarla aşağıdaki sorgulamalar gerçekleştirilmiştir:

Genel durum sorgulama:

- Yeraltı maden faaliyetlerinde toz bastırıcı su sisteminin kullanımını ve kullanılmamasını belirleyen unsurlar nelerdir?

Cevap: İşletmenin bu sisteme sahip olması durumunda, çalışan, sistemin kullanım amacının farkında olarak, İSG kurallarına uygun davranıyorsa kullanımını uygun bir şekilde sağlayacaktır. Fakat işletme bu sisteme sahip değilse, çalışan İSG bilgilerinden bağımsız olarak sistemi kullanamaz.

Çıkarım: Dolayısıyla İSG planlama olarak ifade edilen, işletmenin bu düzeneğe sahip olması durumu, toz bastırıcı sistemlerin kullanımı için gerek şartı oluşturmaktadır. Dolayısıyla en kötü senaryoya dair olasılık çıkarımı da yapılmış olur. İlgili şartlı durumların olasılıksal ifadeleri denklem 5.4'teki gibidir:

$$P(Toz\ bas.su\ sis._{Evet}\ |ISG\ Eğitim_{Yeterli}\ , ISG\ Planlama_{Yetersiz}) = 0$$
$$P(Toz\ bas.su\ sis._{Hayır}\ |ISG\ Eğitim_{Yeterli}\ , ISG\ Planlama_{Yetersiz}) = 1 \quad (5.4)$$

$$P(Toz\ bas.su\ sis._{Evet}\ |ISG\ Eğitim_{Yetersiz}\ , ISG\ Planlama_{Yetersiz}) = 0$$

$$P(Toz\ bas.su\ sis._{Hayır}\ |ISG\ Eğitim_{Yetersiz}\ , ISG\ Planlama_{Yetersiz}) = 1$$

En iyi senaryo sorgulaması:

- Eğer işletme yönetimi, faaliyetler süresince ortaya çıkan tozun bastırılması için uygun sistemi bulunduruyorsa ve çalışan ilgili eğitim bilgilerine hakimse, sistemin kullanılma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Toz bastırıcı sistemin kullanımı çoğu zaman ekipmanlara entegrasyonunun sağlanması ile gerçekleştirilir. Dolayısıyla süreçte kullanılan ekipmana bu sistemin dahil edilmesi sorumlu çalışanın görevidir. Çalışan İSG eğitimleri kapsamında ele alınan ilgili bilgiye sahip olması halinde, bu sistemin kullanımını mutlaka sağlayacaktır.

Tutarlılık kontrol:

- İSG eğitimleri ile sistemin kullanım gerekliliği hakkında yeterli bilgiye sahip olması halinde, çalışanın bu ekipman eklentisini kullanmama ihtimali yok mudur?

Cevap: Toz bastırıcı sistem, öncelikle kullanıcısı olan çalışanın çalışma konforunu arttırır. Nasıl kullanılacağı ve neden kullanması gerektiğini bilen bir çalışan her zaman için bu sistemi kullanacaktır.

Çıkarım: İlgili şartlı durumların olasılıksal ifadeleri denklem 5.5'teki gibidir:

$$P(Toz\ bas.su\ sis.\ \ kull._{Evet}\ |ISG\ Eğitim_{Yeterli}\ , ISG\ Planlama_{Yeterli}) = 1$$

$$P(Toz\ bas.su\ sist.kull._{Hayır}\ |ISG\ Eğitim_{Yeterli}\ , ISG\ Planlama_{Yeterli}) = 0 \qquad (5.5)$$

Diğer durumsal kombinasyon sorgulamaları:

- Toz bastırıcı sistemin bulunduğu bir işletmede, sistemin kullanımı ve gerekliliği konusunda yeterli İSG eğitimi olmayan bir çalışanın bu sistemi kullanma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanlar, toz bastırıcı sistemin kendi çalışma konforlarına uyduğunu ve çalışma performanslarını arttırıcı bir unsur olduğunu yeterli eğitime almasa da bilirler. Bu yüzden ilgili şartlarda dahi, bu sistemin kullanımını sağlayacaklardır.

- Kullanma bilincine eğitimsel olarak sahip bir çalışan ile sahip olmayan çalışan arasında, sistemi kullanma davranışına yönelik bir fark var mıdır? Eğitim bilinci ile çalışanın kullanımı %100 sağlanır çıkarımı ile ilişkili olarak eğitim bilinci olmayan çalışanın kullanım yüzdesi için ne söylenebilir?

Cevap: Sistemi kullanma gerekliliğine hâkim olmayan bir çalışan için 0.8 olasılıkla sistem kullanımı sağlanır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.6'da görüldüğü gibidir.

$$P(Toz\ bas.su\ sist.kull._{Evet}\ |ISG\ Eğitim_{Yetersiz}\ , ISG\ Planlama_{Yeterli}) = 0{,}8$$
$$P\left(Toz\ bas.su\ sis.\ kull._{Hayır}\ \middle|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}\ , ISG\ Planlama_{Yeterli}\right) = 0{,}2 \quad (5.6)$$

Toz bastırıcı su sistemi için şartlı olasılık tablosu, Çizelge 5.9'daki gibidir:

Çizelge 5.9 : Toz bastırıcı su sistemi kullanımı' düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
İSG Eğitim	Yeterli		Yetersiz	
İSG Planlama	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Evet	1	0	0,8	0
Hayır	0	1	0,2	1

5.3.4.3 Kişisel koruyucu donanım (KKD) kullanımı

Akciğer rahatsızlığı istenmeyen olayının belirleyicilerinden olan "KKD kullanımı" ile kök nedenler arasındaki ilişkinin belirlenmesi için uzmanlarla gerçekleştirilen diyalog aşağıdaki gibidir:

Genel durum sorgulaması:

- Faaliyetler sırasında çalışanları solunum rahatsızlıklarından koruyacak olan KKD kullanımını ve kullanılmamasını belirleyen unsurlar nelerdir?

Cevap: İşletme eğer çalışanlarına, KKD sağlıyorsa ve çalışan, KKD kullanım amacının bilincinde olup, İSG kurallarına uygun davranıyorsa ilgili donanımı kullanacaktır. Fakat işletme tarafından çalışanlara KKD sağlanmıyorsa, çalışanın İSG konusundaki tavrından bağımsız olarak gerekli KKD kullanılmayacaktır.

Çıkarım: Dolayısıyla İSG planlama olarak ifade edilen işletmenin çalışanlarına KKD sağlaması, KKD kullanımı için gerek şart oluşturmaktadır. Böylelikle ilgili olasılık çıkarımına denklem 5.7'deki gibi ulaşılmış olunur:

$$
\begin{aligned}
&P(KKD\ \ kull._{Evet}\,|ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Planlama_{Yetersiz}) = 0\\
&P\big(KKD\ kull._{Hayır}\,\big|ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Planlama_{Yetersiz}\big) = 1\\
&P(KKD\ \ kull._{Evet}\,|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}\,, ISG\ Planlama_{Yetersiz}) = 0\\
&P\big(KKD\ kull._{Hayır}\,\big|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}\,, ISG\ Planlama_{Yetersiz}\big) = 1
\end{aligned}
\tag{5.7}
$$

En iyi senaryo sorgulaması:

- Eğer çalışanlar kullanabilecekleri KKD'lere sahipse, İSG Eğitimi konusunda bilgili ve deneyimli çalışanların KKD kullanma durumu olasılıksal olarak nasıldır?

Cevap: Yeraltı madeni çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliğini sağlayan en önemli unsurlardan biri, kişisel koruyucu donanımların kullanımıdır. Tozlu ortamlarda bulunan ya da toz oluşturan faaliyetlerin ortaya çıkmasını sağlayan süreçlerde görev yapan ve ilgili sağlık farkındalığına sahip her çalışan KKD malzemelerini kesinlikle kullanır.

Çıkarım: İlgili olasılık değerleri denklem 5.8'de belirtildiği gibidir:

$$
\begin{aligned}
&P(KKD\ kull._{Evet}\,|ISG\ Eğitim_{Yeterli}\,, ISG\ Planlama_{Yeterli}) = 1\\
&P\big(KKD\ kull._{Hayır}\,\big|ISG\ Eğitim_{Yeterli}\,, ISG\ Planlama_{Yeterli}\big) = 0
\end{aligned}
\tag{5.8}
$$

Diğer durum kombinasyonları sorgulaması:

- Eğer İSG konusunda gerekli eğitimleri almamış ya da almış olsa da kendince sebeplerle ihmalkâr davranan bir çalışan söz konusu mudur?

Cevap: Çalışanlar kimi zaman KKD malzemelerini yaptıkları işe karşı çok aşina ve deneyimli olduklarını düşündükleri için ve konforlarını azalttığını hissettikleri için kullanmamaya meyilli olabilmektedirler.

- İSG konusunda gerekli eğitimleri almamış ya da almış olsa da kendince sebeplerle ihmalkâr davranan bir çalışan için, KKD kullanım olasılığı için ne söylenebilir?

Cevap: Faaliyetler sırasında ortaya çıkan toza karşı koruyucu maskelerin kullanımı, İSG eğitimlerinde verilen en temel ve en sık bilgi olmasına rağmen, çalışanlar tarafından ihmal edilen bir İSG unsuru olarak kabul edilebilmektedir. Bu durumdaki bir çalışanın, İSG unsurlarına vakıf olmayıp, konforundan ödün verip KKD'yi kullanma ihtimalinin yarı yarıya azaldığı söylenebilir.

Çıkarım: İlgili olasılık değerleri denklem 5.9'da belirtildiği gibidir:

$$P(KKD\ \ kull._{Evet}\,|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}\,, ISG\ Planlama_{Yeterli}) = 0{,}5$$
$$P\big(KKD\ kull._{Hayır}\,\big|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}\,, ISG\ Planlama_{Yeterli}\big) = 0{,}5 \qquad (5.9)$$

Sorgulamalar sonrasında, akciğer rahatsızlığının belirleyicilerinden olan 'KKD kullanımı' değişkeninin şartlı olasılıkları değerleri Çizelge 5.10'daki gibidir:

Çizelge 5.10 : 'KKD kullanımı' düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
İSG Eğitim	Yeterli		Yetersiz	
İSG Planlama	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Evet	1	0	0,5	0
Hayır	0	1	0,5	1

5.3.4.4 Patlamadan etkilenme

Delme faaliyetinden sonra gerçekleştirilen patlayıcı yerleştirme ve patlatma (ateşleme) faaliyetine maruz kalma, yeraltı madenlerinde meydana gelebilen ve gelmesi halinde şiddetli sonuçları olabilen istenmeyen olaylardandır. Maden çıkarabilmek için malzemenin bulunduğu kayaçtan koparılmasını sağlayan patlatma olayları, yeraltı madenlerinde planlı gerçekleştirilen faaliyetlerdir.

Genel durum sorgulaması:

- Yeraltından maden çıkarımı için zorunlu olarak gerçekleştirilen patlatma faaliyetinden etkilenen çalışanlar olabilmekte midir?

Cevap: Planlı gerçekleştirilen ateşleme sırasında belli güvenlik önlemlerinin alınmaması ya da çalışanların patlatma bölgesine girilmemesi konusunda yapılan uyarıları ihlal etmesi, çalışanların patlatmadan etkilenmesine neden olabilir. Ya da patlatma hazırlığı sürerken, eğer patlatma kontrol dışı gerçekleşirse, çalışanların patlatmaya maruz kalması söz konusu olur.

Çıkarım: Anlaşılmaktadır ki, Bayes ağında, 'patlatmadan etkilenme' olarak ifade edilen istenmeyen olayın ebeveyn değişkenleri, olayın meydana gelebilmesi için iki durumsal çeşitliliği göstermektedir. Nedenlerin istenmeyen olaya 'veya' kapısı ile bağlı olduğu anlaşılır. Diğer bir deyişle 'patlatmadan etkilenme' istenmeyen olayının, ebeveyn değişkenlerinin herhangi birinin gerçekleşmesi durumunda gerçekleşeceği öngörülür.

En iyi senaryo sorgulaması:

- Patlatma faaliyetinin kontrol dışı gerçekleşmemesi ve çalışanın patlatma bölgesinde bulunmaması durumunda, patlatmadan etkilenme olasılığı için ne söylenebilir?

Cevap: Planlı gerçekleştirilen ateşleme sırasında belli güvenlik önlemlerinin alınması ve çalışanın patlatma bölgesinde bulunmaması durumunda hiçbir şekilde patlatmadan etkilenme olasılığı yoktur.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.10'daki gibidir:

$$\begin{aligned} P\left(Pat.etk._{Hayır} \middle| Kont.dışı\ patl._{Hayır}, Patl.bölg.bulunma_{Hayır}\right) = 1 \\ P\left(Pat.etk._{Evet} \middle| Kont.dışı\ patl._{Hayır}, Patl.bölg.bulunma_{Hayır}\right) = 0 \end{aligned} \quad (5.10)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Hem kontrol dışı patlama olması hem de çalışanın patlama bölgesinde bulunması durumu ile ortaya çıkan en kötü senaryo içinde çalışanların patlatmadan etkilenme olasılıkları nedir?

Cevap: Patlatma bölgeleri, çalışanların patlamalardan etkilenmemeleri için uyarılarla sınırlanır. Kontrol dışı bir patlatma olması ve çalışanın patlatma bölgesinde bulunması ile birlikte patlatma, çalışanlarının %100 ihtimalle etkilenmesine neden olur.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.11'deki gibidir.

$$\begin{aligned} P\left(Pat.etk._{Hayır} \middle| Kont.dışı\ patl._{Evet}, Patl.bölg.bulunma_{Evet}\right) = 0 \\ P\left(Pat.etk._{Evet} \middle| Kont.dışı\ patl._{Evet}, Patl.bölg.bulunma_{Evet}\right) = 1 \end{aligned} \quad (5.11)$$

Diğer durum kombinasyonlarının sorgulanması:

- Çalışanın kontrollü bir patlatma süresince, patlatma bölgesinde bulunması, çalışanın hangi olasılıkla patlamadan etkilenmesine neden olacaktır?

Cevap: Patlatma yapılan bölgenin sınırlarının oluşturulması, çalışanların zarar görmeyeceği şekilde yönetmeliklerce belirlenir. Bu sınırların içinde olmanın, çalışanların zarar görmesine neden olacağı düşünülür. Bu yüzden, belirtilen sınırlar içinde bulunan çalışanın kontrollü de olsa patlatmadan %100 olasılıkla etkilenmesi beklenir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.12'deki gibidir.

$$P\left(Pat.etk._{Hayır} \middle| Kont.dışı\ patl._{Hayır}, Patl.bölg.bulunma_{Evet}\right) = 0$$
$$P\left(Patl.etk._{Evet} \middle| Kont.dışı\ patl._{Hayır}, Patl.bölg.bulunma_{Evet}\right) = 1 \quad (5.12)$$

- Kontrol dışı bir patlama olması durumunda patlatma bölgesinde bulunmayan bir çalışan için patlatmadan etkilenme olasılığı için ne söylenebilir?

Cevap: Patlatmanın kontrol dışı olması patlatma bölgesinin oluşturulmasına imkân vermeyecektir. Çalışan patlatma bölgesinde olmasa da patlamadan etkilenmesi için yarı yarıya bir ihtimal olduğu söylenebilir.

Tutarlılık kontrol:

- Bir patlatma olduğunda, çalışanın patlatma bölgesinde bulunmaması çalışanı tamamen koruyan bir durum oluşturmaz mı?

Cevap: Kontrol dışı gerçekleşen patlamanın boyutu kestirilemeyeceğinden, çalışanı koruyacak olan güvenli bölge sınırlarının da değişken olması sebebiyle çalışanın tam olarak korunamayacağı düşünülebilir.

Çıkarım: Kontrol dışı patlamanın olması ve patlatma bölgesinde bulunmama durumlarının kombinasyonunda, çalışanın patlatmadan etkilenme ihtimali 0,5 olarak belirlenir.

İlişkili olasılık çıkarımı denklem 5.13'te verilmiştir.

$$P\left(Pat.etk._{Hayır} \middle| Kont.dışı\ patl._{Evet}, Patl.bölg.bulunma_{Hayır}\right) = 0{,}5$$
$$P\left(Pat.etk._{Evet} \middle| Kont.dışı\ patl._{Evet}, Patl.bölg.bulunma_{Hayır}\right) = 0{,}5 \quad (5.13)$$

Bu nedenle ilgili olayın şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.11'deki gibi belirtilir:

Çizelge 5.11 : 'Patlatmadan etkilenme' düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Kontrol dışı patlama	Hayır		Evet	
Patlama bölgesinde bulunma	Hayır	Evet	Hayır	Evet
Hayır	1	0	0,5	0
Evet	0	1	0,5	1

5.3.4.5 Kontrol dışı patlama

Ateşleme faaliyeti altında ele alınan kontrol dışı patlama olayının, ateşleme kurallarına uyulmaması ve ateşleme sonrası kontrol yapılmaması sebepli meydana geldiği belirtilmiştir.

En iyi senaryo sorgulama:

- Ateşleme kurallarına uyum sağlanırsa ve ateşleme sonrası kontrolün yeterli bir şekilde yerine getirilmesi sağlanırsa, kontrol dışı patlama meydana gelebilir mi?

Cevap: Belirtilen koşullarda büyük ihtimalle kontrol dışı patlatma gerçekleşmez, fakat asla meydana gelmez yanıtını vermek güçtür. Bilinmeyen bir sebeple birlikte kontrol dışı patlama olması yine de beklenebilir.

- Olabilecek en iyi senaryolar altında dahi kontrol dışı bir patlama olma olasılığı için ne düşünülür?

Cevap: Her kontrolün ve önlemin yeterli düzeyde yerine getirilmesi durumunda kontrol dışı patlama olmayacaktır. Fakat, yeraltı madenlerinde bu durum için ilgili olasılık değeri çok çok az şeklinde ifade edilebilir ve bu oranın ifadesi için binde bir olasılığı uygun görülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.14'te verildiği gibidir.

$$P\left(Kont.dışı\ patl._{Hayır}\ |At.kur.uyum._{Evet}, At.sonr.kntrl_{Yeterli}\right) = 0.999$$
$$P(Kontr.dışı\ patl._{Evet}\ |At.kur.uyum._{Evet}, At.sonr.kntrl_{Yeterli}) = 0.001 \quad (5.14)$$

Tutarlılık kontrol:

- KKD kullanımının sağlanması ve toz bastırıcı sistemlerle her türlü sağlık önlemlerinin alınmasına rağmen, çalışanın bir akciğer rahatsızlığı yaşaması ihtimali olduğu ifade edilmiştir. Bu olay ile her türlü önlemlerin alınmasına rağmen kontrol dışı patlama olma ihtimalinin kıyaslaması için ne söylenebilir? Diğer bir deyişle, önlemlere rağmen bu iki istenmeyen olayın gerçekleşme olasılıkları benzer midir?

Cevap: Yeraltı madenlerinde önlemlere rağmen gerçekleşeceği varsayılan pek çok istenmeyen olay vardır. Akciğer hastalıklarının en iyi koşullar altında gerçekleşme ihtimali, kontrol dışı patlamaların en iyi koşullar altında gerçekleşme ihtimalinden çok daha olasıdır.

Çıkarım: En iyi senaryolar altında, akciğer rahatsızlığına yakalanma ihtimali için 0,01 ifadesi verilirken, kontrol dışı patlama için 0,001 olasılık değerlerinin verilmesi tutarlılık göstermektedir.

En kötü senaryo sorgulama:

- Kurallarına göre düzenlenmemiş bir patlama ve ateşleme sonrası yeterince yapılmamış bir kontrol halinde, diğer bir deyişle en kötü senaryo durumunda, patlama bölgesinde kontrol dışı bir patlama olma olasılığı kaçtır?

Cevap: Belirtilen durumda, patlama ihtimalinin ciddi düzeyde olduğu düşünülebilir. Yarı yarıya ihtimalle kontrol dışı patlama olabileceği belirtilebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.15'te verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P\left(Kont.dışı\ patl._{Hayır} \middle| At.kur.uyum._{Hayır}, At.sonr.kntrl_{Yetersiz}\right) &= 0{,}5 \\ P\left(Kont.dışı\ patl._{Evet} \middle| At.kur.uyum._{Hayır}, At.sonr.kntrl_{Yetersiz}\right) &= 0{,}5 \end{aligned} \tag{5.15}$$

Diğer durum kombinasyonları sorgulama:

- Bir önceki ateşleme sonrası kontrolün yeterince yapılmasına rağmen, patlatma faaliyetinin kurallara uygun olarak sürdürülmemesi durumunda kaza riski için ne düşünülür?

Cevap: Ateşleme sonrası kontrolün yapılmasına rağmen, patlatma faaliyeti sırasındaki hayati kurallara uyulmaması, kontrol dışı patlama olmasına imkân tanıyabilir. Bu duruma dair olasılığa %10 ifadesini belirtmek uygundur.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.16'da verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P\left(Kont.dışı\ patl._{Hayır} \middle| At.kural.uyum._{Hayır}, At.sonr.kntrl_{Yeterli}\right) &= 0{,}90 \\ P\left(Kont.dışı\ patl._{Evet} \middle| At.kural.uyum._{Hayır}, At.sonr.kntrl_{Yeterli}\right) &= 0{,}10 \end{aligned} \tag{5.16}$$

- Bir önceki patlatma sürecinde ateşleme sonrası kontrolün yetersiz yapılmış olması, ateşleme sırasında ilgili kurallara uyum sağlanmış olsa bile, kontrol dışı patlama gerçekleşmesine neden olur mu?

Cevap: Patlamamış bir patlayıcının kalma ihtimali, patlatma yaparken tüm kurallara uyulsa bile patlamanın %10 ihtimal ile kontrol dışı gerçekleşmesine neden olabilecektir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.17'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P\left(Kont.dışı\ patl._{Hayır} \middle| At.kural.uyum._{Evet}, At.sonr.kntrl_{Yetersiz}\right) &= 0{,}90 \\ P\left(Kont.dışı\ patl._{Evet} \middle| At.kural.uyum._{Evet}, At.sonr.kntrl_{Yetersiz}\right) &= 0{,}10 \end{aligned} \tag{5.17}$$

Değişkenler arası şartlı olasılıkları gösterir tablo Çizelge 5.12'de verilmiştir:

Çizelge 5.12 : 'Kontrol dışı patlama' düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Ateşleme kurallarına uyum	Evet		Hayır	
Ateşleme sonrası kontrol	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Hayır	0,999	0,9	0,9	0,5
Evet	0,001	0,1	0,1	0,5

5.3.4.6 Ateşleme kurallarına uyum

Ateşleme kurallarına uyum ile ilişkili bir sorun yaşanması halinde, bunun sebeplerinin İSG eğitimi ve çalışanın anlık dikkati ile ilgili bir sorun yaşaması olduğu belirtilmiştir.

En iyi senaryo sorgulama:

- Patlatmadan sorumlu çalışanın ilgili eğitim konusunda herhangi bir eksiğinin olmaması ve oldukça dikkatli bir şekilde her unsura dikkat etmesi durumunda, çalışanın ateşleme kurallarına uymama ihtimali var mıdır?

Cevap: İnsanla ilişkili tüm unsurlarda küçük de olsa olumsuz bir pay bırakmak gerektiği için, çalışanın %1 ihtimalle ateşleme kurallarına uymayacağı düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.18'de verildiği gibidir.

$$P(At.kur.uyum._{Evet} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çalışan\ dikkati_{Yeterli}) = 0{,}99$$
$$P(At.kur.uyum._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çalışan\ dikkati_{Yeterli}) = 0{,}01 \quad (5.18)$$

En kötü senaryo sorgulama:

- Ateşleme kuralları hakkında yeterli eğitime sahip olmayan ve önemli bir faaliyet olan ateşleme ile ilgili kurallara dair göstermesi gereken dikkati göstermeyen bir çalışanın kurallara uymama ihtimali yüzde kaçtır?

Cevap: Verilen durumlar altında çalışanın yarı yarıya kural ihlali yapacağı düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.19'da verildiği gibidir.

$$P(At.kur.uyum._{Evet} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çalışan\ dikkati_{Yetersiz}) = 0{,}5$$
$$P(At.kur.uyum._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çalışan\ dikkati_{Yetersiz}) = 0{,}5 \quad (5.19)$$

Diğer durum kombinasyonları sorgulama:

- Ateşleme konusunda İSG eğitimlerini almış bir çalışanın yeterli dikkati gösteremediği bir ateşleme süresince, ateşleme ile ilgili unsurları yanlış yerine getirme ihtimali nedir?

Cevap: Ateşleme faaliyeti, çalışanın dikkatini gerektiren faaliyetlerdendir. Çalışanın olası bir dikkatsizlik durumunda, gerekli eğitimlere sahip olsa da ateşleme kurallarına %10 ihtimalle uymayacağı düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.20'de verildiği gibidir.

$$P(At.kur.uyum._{Evet} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çalışan\ dikkati_{Yetersiz}) = 0{,}9$$
$$P(At.kur.uyum._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çalışan\ dikkati_{Yetersiz}) = 0{,}1 \quad (5.20)$$

- Çalışanın patlatma konusunda ilgili kurallara hâkim olmamasına rağmen, patlatma faaliyetini dikkatle yerine getirmesi durumunda, ateşleme kurallarının aykırı bir davranışta bulunmasının ihtimali nedir?

Cevap: Kurallara hâkim olmaması sebepli çalışanın, dikkatli de olsa kurallara aykırı bir davranışta bulunmasına neden olacağı düşünülebilir. Eğitimin özellikle patlatma konusundaki önemi düşünülecek olursa belirtilen durumda, eğitimin varlığı fakat, dikkat unsurunun yoksunluğunda ortaya çıkan olumsuz durumun; iki katı şiddetinde bir olumsuzluk ortaya çıkacağı sonucuna varılabilir. %20 olasılıkla çalışanın ateşleme kurallarına uymamış olacağı düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.21'de verildiği gibidir.

$$P(At.kur.uyum._{Evet} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çalışan\ dikkati_{Yeterli}) = 0{,}8$$
$$P(At.kur.uyum._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çalışan\ dikkati_{Yeterli}) = 0{,}2 \quad (5.21)$$

Ateşleme kurallarına uyum olayına dair şartlı olasılık tablosu Çizelge 5.13'te gösterildiği gibidir.

Çizelge 5.13 : 'Ateşleme kurallarına uyum' düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
İSG Eğitim	Yeterli		Yetersiz	
İSG Dikkat	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Evet	0,99	0,9	0,8	0,5
Hayır	0,01	0,1	0,2	0,5

5.3.4.7 Ateşleme sonrası kontrol

Patlatma sonrasında, patlayıcıların hepsinin patlayıp patlamadığının kontrol edilmesi faaliyeti olan ateşleme sonrası kontrol, patlatma faaliyetinin sağlıklı bir şekilde sürdürülebilmesindeki önemli faktörlerden biridir. Bu faaliyetin gerektiğince yapılmasında etkili olan iki unsurun eğitim ve denetim unsurları olduğu belirtilmektedir.

En iyi senaryo sorgulama:

- Ateşleme sonrası faaliyetlerle ilgili gerekli eğitimi, eğitim kurallarını aksatmadan uygulayacak şekilde almış olan bir çalışan ve yeterli denetimlerin her zaman yapıldığı bir ateşleme faaliyeti süresince, ateşleme sonrası kontrolün yeterli düzeyde yapılmama ihtimali var mıdır?

Cevap: İnsan performansı ile ilişkili bir faaliyet olması sebebiyle, en iyi şartlarda dahi, kontrolün yapılmaması için %1'lik ufak bir ihtimal bırakmak gerekse de faaliyetin aynı zamanda denetimle de desteklenmesi hata yapılmasını daha da zorlaştırır.

Tutarlılığın sağlanması için yönlendirilmiş soru:

- Belirlenemeyen sorunların olduğunun varsayıldığı durumlarda 0,01 ihtimali kullanıldıysa, bu ihtimalin hem eğitim hem denetim için iki kere ele alınması ile ortaya çıkan çok daha küçük değerin (0.01*0.01=0.0001) kullanılması uygun mudur?

Cevap: En iyi şartlar altında ateşleme sonrası kontrolün yapılmamasının çalışmanın bu noktasına kadarki en küçük olasılık olduğu düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.22'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(At.sonrası\ kont._{Yeterli}\ |ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) &= 0{,}9999 \\ P(At.sonrası\ kontr._{Yetersiz}\ |ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) &= 0{,}0001 \end{aligned} \quad (5.22)$$

En kötü senaryo sorgulama:

- Çalışanların ateşleme konusunda İSG ile ilişkili yeterli eğitimi almadığı ve kontrol aşamasına denetimle destek sağlanmadığı, diğer bir deyişle hem çalışana hem denetimden sorumlu kişinin performansına güvenilmediği takdirde, kontrolün yeterli yapılma ihtimali için hangi oran verilebilir?

Cevap: Olası en kötü durumda ateşleme sonrası kontrolün yarı yarıya yetersiz kalacağı söylenebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.23'te verildiği gibidir.

$$P(At.sonrası\ kont._{Yeterli}\ |ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0{,}5$$
$$P(At.sonrası\ kont._{Yetersiz}\ |ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0{,}5 \quad (5.23)$$

Diğer durum kombinasyonları sorgulama:

Tutarlılık kontrol:

- Eğitim konusunda güvenilir bir çalışanın yetersiz denetimle yaptığı ateşleme sonrası kontrolün mü, yoksa eğitim konusunda güvenilmez fakat denetimin yeterli yapıldığı ateşleme sonrası kontrolün mu daha uygun yapıldığı düşünülür?

Cevap: Yeraltı madenlerinde denetim unsurunun, faaliyetin düzgün yerine getirilmesinde her zaman işe yaradığı ve dolayısıyla eğitim unsurundan daha etkili olduğu düşünülür.

Çıkarım: Eğitim konusunda çalışana güvenilmez fakat denetimin yeterli düzeyde yapıldığı bir ateşleme sonrası kontrolün gerçekleştirildiği durumda, eğitim konusunda güvenilir bir çalışanın yetersiz denetimle yaptığı ateşleme sonrası kontrolünden daha yeterli olduğu çıkarımı yapılması gerekir.

- Eğitim konusunda güvenilir bir çalışanın ateşleme sonrası kontrol faaliyetinin denetim ile desteklenmemesi durumunda, faaliyetin yeterliliği-yetersizliği için ne söylenebilir?

Cevap: Denetleme ile desteklenmemesi iki kontrol ile birlikte değil, yalnızca çalışan kontrolünde yapıldığını gösterir. Bu durum çalışanın performansında düşüklük yaratacaktır. Ateşleme sonrası kontrol faaliyetinin %10 ihtimalle yetersizleşebileceği düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.24'te verildiği gibidir.

$$P(At.sonrası\ kont._{Yeterli}\ |ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0{,}9$$
$$P(At.sonrası\ kont._{Yetersiz}\ |ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0{,}1 \quad (5.24)$$

- Eğitim konusunda yetersiz bir çalışanın, yeterli denetime maruz kalması durumunda, ateşleme sonrası kontrolün yeterliliği hakkında ne düşünülebilir?

Cevap: Denetleme gerektirecek kadar önemli bir faaliyet için sorumlu çalışanın eğitim eksikliği söz konusu olduğunda insan hatası için bir pay bırakılması gerekir. Eğitimin yetersizliği ile %5'lik bir hata payı bırakılması ve denetimden sorumlu personelin sürece hakimiyeti ile kontrol sürecinin %95 oranında başarılı gerçekleştirileceğine inanılabilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.25'te verildiği gibidir.

$$P(At.sonrası\ kont._{Yeterli}\ |ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) = 0{,}95$$
$$P(At.sonrası\ kont._{Yetersiz}\ |ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) = 0{,}05 \quad (5.25)$$

Ateşleme sonrası kontrol için şartlı olasılık tablosu Çizelge 5.14'te verildiği gibidir:

Çizelge 5.14 : 'Ateşleme sonrası kontrol' düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
İSG Eğitim	Yeterli		Yetersiz	
İSG Denetim	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Yeterli	0,9999	0,9	0,95	0,5
Yetersiz	0,0001	0,1	0,05	0,5

5.3.4.8 Patlama bölgesinde bulunma

Ateşleme faaliyeti süresince gerçekleşmesinden sakınılan patlatmaya maruz kalma olayının önemli değişkenlerinden olan patlatma bölgesinde bulunma hatasının gerçekleştirenleri, patlatma uyarılarının yapılması ve bu uyarılara uyması beklenen çalışanın sahip olduğu İSG bilgisidir.

En iyi senaryo sorgulama:

- Patlatma uyarılarının yeterli düzeyde yapıldığı bir patlatma ortamında, uyulması gereken kurallara hakimiyeti yüksek olan bir çalışanın patlatma bölgesinde bulunma olasılığı var mıdır?

Cevap: Dikkatsizlik unsuruna yer verilmeyecek kadar fazla sayıdaki patlatma uyaranları ve çalışanın aldığı gerekli düzeyde eğitimlerden sonra, patlatma bölgesinde bulunma ihtimali yoktur.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.26'da verildiği gibidir.

$$\begin{aligned}(Patl.bölg.bulunma_{Hayır}|Patl.uyarısı_{Yeterli}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}) = 1\\ P(Patl.bölg.bulunma_{Evet}|Patl.uyarısı_{Yeterli}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}) = 0\end{aligned} \quad (5.26)$$

En kötü senaryo sorgulama:

- Patlatma uyarılarının yeterli düzeyde yapılmadığı bir patlatma ortamında uyulması gereken kurallara olan hakimiyeti de yeterli olmayan bir çalışanın, patlatma bölgesinde bulunma olasılığı nedir?

Cevap: Belirtilen en kötü koşullarda, çalışanın patlatma bölgesinde bulunma ihtimalinin yarı yarıya gibi oldukça yüksek bir risk taşıyacağı düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.27'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned}(Patl.bölg.bulunma_{Hayır}|Patl.uyarısı_{Yetersiz}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}) = 0{,}5\\ P(Patl.bölg.bulunma_{Evet}|Patl.uyarısı_{Yetersiz}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}) = 0{,}5\end{aligned} \quad (5.27)$$

Diğer durum kombinasyonları sorgulama:

- Patlatma uyarılarının yeterli düzeyde yapıldığı bir patlatma ortamında uyulması gereken kuralları tam olarak bilmeyen bir çalışanın patlatma bölgesinde bulunma olasılığı nedir?

Cevap: Eğitimi yetersiz olsa da uyarıların yeterli düzeyde olması çalışanı büyük ölçüde bölgeden uzak tutacaktır. Fakat yine de çalışanın bilgi eksikliği sebebiyle, kuralı ihmal etme tutumu var olacağından dolayı, çalışanın %10 oranında bulunmaması gereken bölgeye girebileceği düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.28'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned}P(Patl.bölg.bulunma_{Hayır}|Patl.uyarısı_{Yeterli}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}) = 0{,}9\\ P(Patl.bölg.bulunma_{Evet}|Patl.uyarısı_{Yeterli}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}) = 0{,}1\end{aligned} \quad (5.28)$$

- Patlatma uyarılarının yeterli düzeyde yapılmamış olması, çalışanın bir patlatma ortamında uyulması gereken kurallara tam olarak hâkim olsa da bölge dahiline girmesine neden olabilir mi?

Cevap: Eğitimi yeterli olan bir çalışan patlatma uyarılarına mutlak uyması gerektiğini bilir. Fakat ilgili uyarıların tam olarak yapılmadığı bir patlatma ortamında, patlatmanın zamanı ve bölgesi tam olarak kestirilemeyebilir. Dolayısıyla, çalışanın patlatma bölgesinde bulunma ihtimalinin bir önceki durumun iki katı daha fazla olması beklenir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.29'da verildiği gibidir.

$$\begin{aligned}(Patl.bölg.bulunma_{Hayır}|Patl.uyarısı_{Yetersiz}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}) &= 0{,}8\\ P(Patl.bölg.bulunma_{Evet}|Patl.uyarısı_{Yetersiz}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}) &= 0{,}2\end{aligned} \quad (5.29)$$

Patlatma bölgesinde bulunma hatasının, gerçekleyenleri ile arasındaki şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.15'te gösterildiği gibidir:

Çizelge 5.15 : 'Patlatma bölgesinde kontrol' düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Patlatma uyarısı	Yeterli		Yetersiz	
İSG Eğitim	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Hayır	1	0,9	0,8	0,5
Evet	0	0,1	0,2	0,5

5.3.4.9 Patlatma uyarısı

Patlatma faaliyetlerinin güvenli kılınmasının en etkili önlemi olan patlatma uyarısının yeterli düzeyde yapılmasını belirleyen değişkenler, uyarının yapılmasından sorumlu çalışanın ilgili İSG bilgisi ve sürece yapılan İSG denetimi olarak görünmektedir.

En iyi senaryo sorgulama:

- Patlatma uyarılarından sorumlu çalışanın sorumlu olduğu faaliyetle ilgili güvenlik bilgilerine hâkim olması ve denetlemenin yeterli düzeyde sürece eşlik etmesi durumunda, patlatma uyarılarının yetersiz düzeyde yapılma ihtimali var mıdır?

Cevap: Patlatma uyarılarının tanımlı olması ve ilişkili kontrol ve denetlemelerinin kolaylıkla yapılabilmesi, en iyi koşullardaki hata ihtimalini 0'a indirir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.30'da verildiği gibidir.

$$\begin{aligned}P(Patlatma\ uyarısı_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) &= 1\\ P(Patlatma\ uyarısı_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) &= 0\end{aligned} \quad (5.30)$$

Tutarlılık kontrol:

- Patlatma sonrası kontrolün yeterliliği ve yetersizliği önemli faktörlerin eğitim ve denetim olarak belirlenmesi ve en iyi senaryo altında faaliyetin yetersizliği için 0,001 ihtimali belirtilmiştir. Patlatma uyarısının en iyi faktörler altındaki

yetersizliği ile patlatma sonrası kontrolün en iyi koşullar altında yetersiz olması durumları arasındaki olasılıksal farkın sebebi nedir?

Cevap: Patlatma sonrası kontrol, patlatma uyarıları faaliyetinden daha karmaşık olduğu için en iyi durumda bile hata payı bırakılmasını gerektirir.

En kötü senaryo sorgulama:

- Patlatma uyarılarından sorumlu çalışanın, sorumlu olduğu faaliyetle ilgili güvenlik bilgilerine tam olarak hâkim olmaması ve denetlemenin sürece yeterli düzeyde eşlik etmemesi durumunda, patlatma uyarılarının yetersiz yapılma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Belirtilen en kötü koşullarda patlatma uyarısı yeterliliğinin yarı yarıya durumunda daha düşük olarak %30 olasılığa sahip olacağı kabul edilebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.31'de verildiği gibidir.

$$P(Patlatma\ uyarısı_{Yeterli} | ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0.3$$
$$P(Patlatma\ uyarısı_{Yetersiz} | ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0.7 \quad (5.31)$$

Diğer durum kombinasyonları sorgulama:

- Patlatma uyarılarından sorumlu çalışanın sorumlu olduğu faaliyetle ilgili güvenlik unsurlarına tam olarak hâkim olmasına rağmen, denetlemenin sürece yeterli düzeyde eşlik etmemesi durumunda, patlatma uyarılarının yetersiz düzeyde yapılma ihtimali için ne söylenebilir?

Tutarlılık için Yönlendirme:

- Daha önceki sorgulamalarda, benzer şartların etkilediği ateşleme sonrası kontrolün yeterli yapılmamasına ilişkin atanan değerin 0,1 olduğu ve patlatma uyarısı sürecinin, ateşleme sonrası kontrol sürecinden daha az karmaşık olduğunu belirtilmiştir.

Cevap: Eğitimin yeterli olması, fakat sürecin denetleme ile desteklenmemesi durumunda, patlatma uyarı sürecinin ateşleme sonrası kontrol sürecinden daha kolay gerçekleştirilebilir olması sebebiyle, uyarının yeterli düzeyde yapılmaması durumu için 0,05 ihtimalinin verilmesi uygundur.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.32'de verildiği gibidir.

$$P(Patlatma\ uyarısı_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0{,}95$$
$$P(Patlatma\ uyarısı_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0{,}05 \quad (5.32)$$

- Daha önceki sorgulamalarda, ateşleme sonrası kontrolü belirleyen unsurlar için yetersiz düzeyde eğitim ve yeterli düzeyde denetim koşulları altında ilgili faaliyetin 0,05 olasılıkla yeterli yapılmayacağı tespit edilmiştir ve patlatma uyarı sürecinin, ateşleme sonrası kontrol sürecinden daha az karmaşık olduğu belirtilmiştir.

Cevap: Eğitimin yetersizliğine rağmen, denetleme sürecinin yeterli seviyede var olması, sürecin yeterli gerçekleştirilmesini sağlar. Benzer durumda ateşleme sonrası kontrol için bırakılan hata payı %5 iken, patlatma uyarılarının yetersiz yapılmasına ilişkin hata payının %1 oranında bırakılması uygun görülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.33'te verildiği gibidir.

$$P(Patlatma\ uyarısı_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) = 0{,}99$$
$$P(Patlatma\ uyarısı_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) = 0{,}01 \quad (5.33)$$

Patlatma uyarısının yeterliliği ve yetersizliği ile nedenleri arasındaki şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.16'da verilmiştir:

Çizelge 5.16 : 'Patlatma uyarısı' düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
İSG Eğitim	Yeterli		Yetersiz	
İSG Denetim	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Yeterli	1	0,95	0,99	0,3
Yetersiz	0	0,05	0,01	0,7

5.3.4.10 Ekipman yaralanması

Ekipman yaralanması, yeraltı madenlerinde ekipman yardımıyla sürdürülen ve doğrudan işgücüyle gerçekleştirilen ocak içi ekipman taşıma, delme, ateşleme, tahkimat sağlama, aynada kürek kullanımı, el arabası ve vagon ile nakliyat ile manuel oluk yükleme faaliyetlerinde sıklıkla karşılan bir iş kazasıdır. Diğer bir deyişle, ekipman yaralanması, yeraltı madenciliğinin neredeyse tüm faaliyetlerinde karşılaşılır. Çalışanların ekipman sebepli yaralanmalarının ekipman kullanımı ile ilgili İSG eğitimlerinde verilen kurallara hâkim olmamaları, çalışılan zeminin koşulları ve

çalışanın anlık dikkatsizliği sebepli yaşandığı, nedensel sorgulamalar aşamasında belirlenmiştir.

Nedenlerin 8 farklı durumsal kombinasyonlarının ekipman yaralanması olayına olasılıksal etkileri için aşağıdaki sorgulamalar yapılır:

Genel durum sorgulaması:

- Çalışanın, ekipmanının ona zarar vermeyecek şekilde kullanımı konusunda tam bilgili olduğu düşünüldüğünde, çalışılan zemine ve anlık dikkatine bağlı olarak ekipman yaralanması yaşaması için neler belirtilebilir?

Cevap: Çalışanın, ekipmanın güvenli bir şekilde kullanımı konusunda gerekli bilgi ve deneyime sahip olsa da çalıştığı zeminin bozukluğu arttıkça yaralanma ihtimali artar ve herhangi bir zarar görmeden faaliyetini sürdürmesi tamamen sahip olduğu dikkate bağlı olur.

En iyi senaryo sorgulaması:

- Çalışanın ekipman yaralanmasını gerçekleştiren faktörlerin en iyi durumları altında, diğer bir deyişle, gerekli eğitime sahip, düzgün bir zeminde ve dikkatli olduğu varsayıldığında, çalışanın kendini yaralama ihtimali yine de var mıdır?

Cevap: Her şeye rağmen, tüm olumlu koşullar altında dahi, çalışanın ekipman sebepli yaralanma ihtimali az da olsa her zaman vardır. İlgili olasılık için %1 değeri uygundur.

Çıkarım: Ekipman yaralanması düğümü bağlı olduğu ebeveyn değişkenlerinin en iyi durumlarında bile kesinlikle yaşanmıyor değil. İlişkili olasılık değerleri denklem 5.34'te verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P\left(Ekip.yar._{Hayır} \middle| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.zemini_{Düzgün}, Çal.Dikkati_{Yeterli}\right) &= 0{,}99 \\ P\left(Ekip.yaral._{Evet} \middle| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.zemini_{Düzgün}, Çal.Dikkati_{Yeterli}\right) &= 0{,}01 \end{aligned} \quad (5.34)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Çalışanın ekipman yaralanmasını gerçekleştiren faktörlerin en kötü durumları altında, diğer bir deyişle, hem gerekli eğitime sahip olmadığı ve düzgün bir zeminde olmadığı hem de dikkatsiz olduğu durumlarda, çalışanın kendini yaralama ihtimali için ne denebilir?

Cevap: Yeraltı madenlerinde kullanılan ekipmanlarla yaşanan yaralanmalar, arkasında başka sebepler de olsa çalışanların kendi kendilerine sebep oldukları kazalardır.

İnsanlar içgüdüsel olarak kendilerini kazalara karşı her zaman korurlar. Bu yüzden, en kötü senaryo altında %50 ifadesi ekipman yaralanması için uygun değerlendirmedir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.35'te verildiği gibidir.

$$P\left(Ekip.yaral._{Hayır} \middle| ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.zem._{Engebeli}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}\right) = 0{,}50$$
$$P\left(Ekip.yaral._{Evet} \middle| ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.zem._{Engebeli}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}\right) = 0{,}50 \quad (5.35)$$

Tutarlılık sorgulaması:

- Genel çerçeveden bakıldığında, çalışanın düşmesinde en etkili unsur eğitim mi, zemin mi, dikkat midir? Bu unsurların etki önem sıralaması nasıldır?

Cevap: Çalışanların ekipmanlarla kendilerini yaralamaları düşünüldüğünde en önemli unsurun eğitim olduğu ele alınabilir. Çoğunlukla kendi konforu için ihmal ettiği önemli İSG kuralları çalışanın ilgili ekipmana dair İSG eğitiminin derin olmadığını gösterir. Daha sonraki etkenlerin ise sırasıyla dikkatsizlik ve zemin olduğu söylenebilir.

Çıkarım: Nedenlerin önem sıralaması "İSG eğitim > Çalışan dikkati > Çalışma zemini" olarak gösterilebilir. Durum kombinasyonları için olasılık azalması ve artışlarının tutarlılığı, bu sıralama üzerinden kontrol edilebilir.

Tutarlılık sorgulaması:

Olasılık çıkarım sürecinde tutarlılığın korunması için, uzmanlara yardımcı olmak adına sorgulama sırasına dikkat edilmelidir. Uzmanların düşünsel olarak kavramsal karmaşıklığa düşmemesi için, ikiden fazla nedensel değişkeni olan olaylara dair şartlı olasılık sorgulamaları yapılırken, en iyi ve en kötü durumsal senaryoların çıkarımlanmasından sonra, en önemli değişkenin, sırasıyla olumlu ve olumsuz durumları sabit tutularak, uzmanlara diğer değişkenlerin farklı durumsal kombinasyonları yöneltilebilir. Nedenlerin değişken durumlarının sorgu sıralaması yapılırken, öncelikle önem sıralamalarına ve olumlu durumsal parametrelerine göre sorgulamalar yapmak, uzmanların sorgulama mantığına daha uygun olacaktır.

Yeterli-İSG Eğitimi faktörü beraberinde diğer nedenlerin farklı durumsal kombinasyonları sorgulamaları:

- İSG ile ilişkili yeterli eğitime sahip ve faaliyetini sürdürürken anlık dikkatini yeterli seviyede tutabilen ideal çalışanlar için, çalıştığı maden zemininin

olumsuz koşullarda olması durumunda ekipman yaralanma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Zeminin uygun koşullarda olmadığı durumlarda, eğitimli ve dikkatli de olsa çalışanın ekipman sebepli yaralanma ihtimali vardır. Zemin sebepli yaralanma ihtimali için %5 oranı verilebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.36'da verildiği gibidir.

$$P\left(Ekip.yaral._{Hayır} \middle| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.zemini_{Engebeli}, Çal.Dikk._{Yeterli}\right) = 0{,}95$$
$$P\left(Ekip.yaral._{Evet} \middle| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.zemini_{Engebeli}, Çal.Dikk._{Yeterli}\right) = 0{,}05 \quad (5.36)$$

- Ekipmanın kullanımı konusunda yeterli bilgiye sahip bir çalışanın, düzgün ve onu zorlamayan bir zeminde faaliyet gösterirken, dikkatini kaybetmesi ekipman yaralanmasına maruz kalma ihtimaline nasıl yansır?

Cevap: Dikkatsizlik, yeraltı madenciliğinde kullanılan ekipmanların, çalışanın faaliyet gösterirken kendini yaralamaması için en gerekli unsurlardan biridir. Dikkatini kaybeden bir çalışanın özellikle faaliyet içindeki hareketlerin rutin olduğu durumlarda, kaza yaşamaya bir önceki durumun üç katı kadar daha fazla yakın olduğu düşünülebilir. İlgili olasılık için %15 uygun bir değerdir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.37'de verildiği gibidir.

$$P\left(Ekip.yaral._{Hayır} \middle| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.zemini_{Düzgün}, Çal.Dikk._{Yetersiz}\right) = 0{,}85$$
$$P\left(Ekip.yaral._{Evet} \middle| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.zemini_{Düzgün}, Çal.Dikk._{Yetersiz}\right) = 0{,}15 \quad (5.37)$$

- Ekipman kullanımı konusunda İSG konusunda nelere dikkat etmesi gerektiğini bilen yeterli bilgiye sahip bir çalışanın, zemin koşullarının olumsuzluğu üzerine, anlık dikkatsizlik yaşaması durumundaki ekipman yaralanma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Zeminin olumsuzluğu üzerine, çalışanın bir de dikkat sorunu yaşaması eklenirse, İSG eğitimi konusunda ne kadar bilgili olursa olsun, ekipman yaralanma ihtimali daha da artar. Ekipman yaralanma ihtimali için 0,25 olasılık değeri uygun olabilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.38'de verildiği gibidir.

$$P(Ekip.yaral._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.zemini_{Engebeli}, Çal.Dikk._{Yetersiz}) = 0{,}75$$
$$P(Ekip.yaral._{Evet} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.zemini_{Engebeli}, Çal.Dikk._{Yetersiz}) = 0{,}25 \quad (5.38)$$

Yetersiz-İSG Eğitimi faktörü beraberinde diğer nedenlerin farklı durumsal kombinasyonları sorgulamaları:

- Ekipmanların kullanımı sırasında dikkat edilmesi gereken İSG hususlarına dair yeterli bilgiye sahip olmayan bir çalışan varsayılsın. Bu çalışanın, güvenli şekilde çalışmaya uygun düzgün zemin koşullarında faaliyet göstermesi ve herhangi bir dikkat sorunu yaşamaması durumunda, ekipman yaralanması olasılığı için ne söylenebilir?

Cevap: Ekipmanın güvenli kullanımına dair gerekli eğitimi almamış bir çalışan, düzgün zemin koşullarında ve dikkatli bir şekilde çalışsa da ekipman yaralanmalarına oldukça meyilli olabilir.

Tutarlılık kontrol:

Uzmanlar, ikiden fazla ebeveyni olan değişkenlere dair olasılık çıkarımları yaparken, zorlanabilmektedirler. Bu sebeple, uzmandan sorgulamanın başında öğrenilen, nedenlerin önemlerine göre sıralanması bilgisi ve ilgili değişkenlerin kaza olasılıklarına tek başlarına yaptığı etkiyi gösterir olasılık değerleri uzmanlarla paylaşılmalıdır.

- Aşağıdaki bilgiler uzmana yöneltilen son olasılık sorgulaması için yardımcı olacaktır:

- $P(Ekip.yaral._{Evet} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.zemini_{Engebeli}, Çal.Dikk._{Yeterli}) = 0{,}05$
- $P(Ekip.yaral._{Evet} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.zemini_{Düzgün}, Çal.Dikk._{Yetersiz}) = 0{,}15$
- Ekipman yaralanmasında faktörlerin önem sıralaması İSG Eğitim, çalışan dikkati ve çalışma zeminidir.

Cevap: Ekipmanın güvenli kullanımına dair gerekli eğitimi almamış bir çalışanın, düzgün zemin koşullarında ve dikkatli bir şekilde çalışsa da ekipman yaralanmasına %25 daha yakın olduğu düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.39'da verildiği gibidir.

$$P(Ekip.yaral._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.zem._{Düzgün}, Çal.Dikkati_{Yeterli}) = 0{,}75$$
$$P(Ekip.yaral._{Evet} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.zem._{Düzgün}, Çal.Dikkati_{Yeterli}) = 0{,}25 \quad (5.39)$$

- Ekipmanların kullanımı sırasında dikkat edilmesi gereken İSG hususlarına dair yeterli bilgiye sahip olmayan çalışanın, ayrıca engebeli zemin koşullarında faaliyet göstermesi halinde, yalnızca dikkatli olarak herhangi bir ekipman yaralanmasına maruz kalmama ihtimali kaçtır? Diğer bir deyişle, bir önceki sorgulamanın üzerine bir de zemin olumsuzluğu eklenirse, kaza olasılığı ne olur?

Cevap: Çalışan yeteri kadar dikkatli olsa da eğer yeterli eğitime sahip değilse ve çalıştığı zemin engebeli ise ekipman yaralanması ihtimali %25'den fazla olur. Dolayısıyla belirtilen koşullar altında ekipman yaralanması yaşanması ihtimaline %30 değerini atamak mümkündür.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.40'da verildiği gibidir.

$$P(Ekip.yaral._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.zem._{Engebeli}, Çal.Dikkati_{Yeterli}) = 0{,}7$$
$$P(Ekip.yaral._{Evet} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.zem._{Engebeli}, Çal.Dikkati_{Yeterli}) = 0{,}3 \quad (5.40)$$

- Ekipman kullanımı konusunda İSG koşullarına dair nelere dikkat etmesi gerektiğini yeterince bilmeyen bir çalışanın, düzgün zemin koşullarında, anlık dikkatsizlik yaşaması durumundaki ekipman yaralanması ihtimali için ne söylenebilir?

Tutarlılık kontrol:

Uzmanlar, ikiden fazla ebeveyni olan değişkenlere dair olasılık çıkarımları yaparken, zorlanabilmektedirler. Bu sebeple, uzmandan sorgulamanın başında öğrenilen, nedenlerin önemlerine göre sıralanması bilgisi ve ilgili değişkenlerin kaza olasılıklarına tek başlarına yaptığı etkiyi gösterir olasılık değerleri uzmanlarla paylaşılmalıdır.

- Aşağıdaki bilgiler uzmana yöneltilen son olasılık sorgulaması için yardımcı olacaktır:

- $P(Ekip.yaral._{Evet} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.zemini_{Engebeli}, Çal.Dikk._{Yeterli}) = 0{,}05$
- $P(Ekip.yaral._{Evet} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.zemini_{Düzgün}, Çal.Dikk._{Yetersiz}) = 0{,}15$

- Ekipman yaralanmasında faktörlerin önem sıralaması İSG Eğitim, çalışan dikkati ve çalışma zeminidir.
- En kötü şartlar altında ekipman yaralanması olma ihtimali için %50 denilmiştir.

Cevap: Çalışanın hem İSG eğitimi hem de dikkat unsurlarının yetersiz olması onun kazaya maruz kalma ihtimalini önemli ölçüde arttıracaktır. Bu olasılık değeri için %40 değeri atanabilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.41'de verildiği gibidir.

$$P\left(Ekip.yaral._{Hayır} \middle| ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.zem._{Düzgün}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}\right) = 0{,}60$$
$$P\left(Ekip.yaral._{Evet} \middle| ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.zem._{Düzgün}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}\right) = 0{,}40 \quad (5.41)$$

Üç ebeveyni olan olayların, şartlı olasılık çıkarımlarının tutarlılık kontrolünün yapılması için Çizelge 5.17'deki tablo uzmanlara sunulur:

Çizelge 5.17 : Ekipman yaralanmasına dair olasılık çıkarımlarının kontrol edilmesi için uzmanlara sunulan tablo.

İSG Eğitimi	Çalışan dikkati	Çalışma zemini	Ekipman yaralanması gerçekleşme ihtimali
+	+	+	0,01
+	+	-	0,05
+	-	+	0,15
+	-	-	0,25
-	+	+	0,25
-	+	-	0,3
-	-	+	0,4
-	-	-	0,5

Çizelgedeki olasılık çıkarımlarını uzmanların kabul etmesi ile birlikte, ilgili olayın şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.18'deki gibi belirtilir:

Çizelge 5.18 : 'Ekipman yaralanması" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları							
Eğitim	Yeterli				Yetersiz			
Dikkat	Yeterli		Yetersiz		Yeterli		Yetersiz	
Maden zemin	Düzgün	Engebeli	Düzgün	Engebeli	Düzgün	Engebeli	Düzgün	Engebeli
Hayır	0,99	0,95	0,85	0,75	0,75	0,7	0,60	0,5
Evet	0,01	0,05	0,15	0,25	0,25	0,3	0,40	0,5

5.3.4.11 Gaz sızıntısı-su baskını

Yeraltı madenlerinde üretim sırasında, eskiden çalışılmış olduğu için ya da jeolojik olarak kendiliğinden oluşan gaz ya da su dolu kayaç boşluklarının tespit edilmemesinin, gaz sızıntısı ya da su patlaması istenmeyen olaylarına sebebiyet vermesi söz konusudur.

En iyi senaryo sorgulama:

- Gaz sızıntısı-su baskını felaketlerinin gerçekleşmesi nedenleri, su-gaz birikmesinin olması ve bu durumun saha kontrol faaliyetleri ile ortaya çıkarılmaması olarak görünmektedir. Su-gaz birikintisinin olması, felaketler için gerek şart olarak görünmektedir. Herhangi bir birikme olayı yoksa ve saha kontrolleri de yeterli yapılmışsa, gaz sızıntısı- su baskını yaşanma ihtimali var mıdır?

Cevap: Su-gaz birikintisinin olması, felaketler için gerek şart olduğu, birikintinin olmaması, ilişkili istenmeyen olayların meydana gelmeyeceğini gösterir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.42'de verildiği gibidir.

$$P\left(Gaz\ sız.,su\ bask._{Hayır}\left|Su\ ya\ da\ gaz\ birikmesi_{Hayır}\ ,Saha\ kontrolü_{Yeterli}\right.\right)=1$$
$$P\left(Gaz\ sız.,su\ bask._{Evet}\left|Su\ ya\ da\ gaz\ birikmesi_{Hayır}\ ,Saha\ kontrolü_{Yeterli}\right.\right)=0 \quad (5.42)$$

En kötü senaryo sorgulama:

- Madende ilerlenilen bölgede su-gaz birikintisinin olması ve bu durumu ortaya çıkaracak yeterli bir saha kontrolünün yapılmaması durumunda, gaz sızıntısı-su baskını yaşanma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Su-gaz birikintisinin olması ve bunun fark edilmeden madende ilerlemeye devam edilmesi ciddi bir sorun çıkmasına mahal yaratır. İlgili olasılığın %50 oranı ile ifade edilmesi mümkündür.

Tutarlılık için sorgulama:

- Gaz ya da su birikintisi olmasına rağmen, patlama ya da sele dönüşmeme ihtimali yok mudur?

Cevap: Su-gaz birikintisinin olması mutlaka bir felakete dönüşeceği anlamına gelmez. Fakat istenmeyen bir olay için yüksek ihtimal yaratır. Bu sebeple ilgili olasılık için %50 ihtimal verilmiştir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.43'te verildiği gibidir.

$$P\left(Gaz\ sız.,su\ bask._{Hayır}\left|Su\ ya\ da\ gaz\ birikmesi_{Evet}\ ,Saha\ kontrolü_{Yetersiz}\right.\right)=0{,}5$$
$$P\left(Gaz\ sız.,su\ bask._{Evet}\left|Su\ ya\ da\ gaz\ birikmesi_{Evet}\ ,Saha\ kontrolü_{Yetersiz}\right.\right)=0{,}5 \quad (5.43)$$

Diğer durum kombinasyonlarının sorgulanması:

- Madende ilerlenilen bölgede su-gaz birikintisinin olması, fakat bu durumun öncesinde fark edilip gerekli önlemlerin alınması ile ilgili felaketlerin yaşanma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Su-gaz birikintisinin fark edilmesi ve gerekli önlemlerin alınmasının, istenmeyen olayın yaşanma ihtimalini ortadan kaldıracağı düşünülse de verilen şartlar altında gaz sızıntısı-su baskını yaşanma ihtimali %1 olarak değerlendirilebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.44'de verildiği gibidir.

$$P\left(Gaz\ sız.,su\ bask._{Hayır}\left|Su\ ya\ da\ gaz\ birikmesi_{Evet}\ ,Saha\ kontrolü_{Yeterli}\right.\right)=0{,}99$$
$$P\left(Gaz\ sız.,su\ bask._{Evet}\left|Su\ ya\ da\ gaz\ birikmesi_{Evet}\ ,Saha\ kontrolü_{Yeterli}\right.\right)=0{,}01 \quad (5.44)$$

- Madende ilerlenilen bölgede su-gaz birikintisinin olmaması ve bu durumun yeterli saha kontrolü ile desteklenmesi ile, ilgili felaketlerin yaşanma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Su-gaz birikintisinin olması, felaketler için gerek şart olduğu için, birikintinin olmaması, ilişkili istenmeyen olayların meydana gelmeyeceğini gösterir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.45'de verildiği gibidir.

$$P\left(Gaz\ sız.,su\ bask._{Hayır}\left|Su\ ya\ da\ gaz\ birikmesi_{Hayır}\ ,Saha\ kontrolü_{Yetersiz}\right.\right)=1$$
$$P\left(Gaz\ sız.,su\ bask._{Evet}\left|Su\ ya\ da\ gaz\ birikmesi_{Hayır}\ ,Saha\ kontrolü_{Yetersiz}\right.\right)=0 \quad (5.45)$$

Bu nedenle ilgili olayın nedenlerine bağlı şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.19'daki gibidir:

Çizelge 5.19 : Gaz sızıntısı-su baskını" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Su-gaz birikmesi	Hayır		Evet	
Saha kontrolü	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Hayır	1	1	0,99	0,5
Evet	0	0	0,01	0,5

5.3.4.12 Gaz - su birikmesi

Madende ilerlenilen bölgede su-gaz birikintisi olmasının nedeni, jeolojik yapı olarak tanımlanmıştır. Yalnızca tek değişkeni olan bu değişen için olasılık sorgulaması aşağıdaki gibidir:

En iyi senaryo sorgulama:

- Jeolojik yapının sağlam olmasının, su-gaz birikintisi olmasındaki etkisi için olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Yeraltı madeninde jeolojik yapı sağlam ise %95 oranında su-gaz birikmesi olmayacağı öngörülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.46'da verildiği gibidir.

$$P(Su-gaz\ birikmesi_{Hayır}|Jeolojik\ yapı_{Sağlam}) = 0{,}95$$
$$P(Su-gaz\ birikmesi_{Evet}|Jeolojik\ yapı_{Sağlam}) = 0{,}05 \quad (5.46)$$

En kötü senaryo sorgulama:

- Jeolojik yapının kırıklı olmasının, su-gaz birikintisi olmasındaki etkisi için olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Yeraltı madeninde jeolojik yapı kırıklı ise muhtemel olarak su-gaz birikmesi olmayacağı öngörülebilir. İlgili olasılık değeri için olasılık ölçeğindeki gibi 0,3 değerinin atanması uygundur.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.47'de verildiği gibidir.

$$P(Su-gaz\ birikmesi_{Hayır}|Jeolojik\ yapı_{Kırıklı}) = 0{,}3$$
$$P(Su-gaz\ birikmesi_{Evet}|Jeolojik\ yapı_{SKırıklı}) = 0{,}7 \quad (5.47)$$

Bu nedenle ilgili olayın nedenlerine bağlı şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.20'deki gibidir:

Çizelge 5.20 : Gaz sızıntısı-su baskını" düğümü şartlı olasılık tablosu

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn farklı durumları	
Jeolojik yapı	Sağlam	Kırıklı
Hayır	0,95	0,3
Evet	0,05	0,7

5.3.4.13 Saha kontrolü

Su-gaz birikmelerinin fark edilebilmesi için sorumlu çalışanlar, çalışılan bölgenin eski planlarını ve mevcut haritaları inceleyip, belirli saha içinde boşluk olup olmayacağını öngörmeye çalışırlar. Varsa geçmiş çalışma haritalarına da bakarak sağlanan saha kontrolleri ile bu olayların yaşanmaması için önlem alınır.

En iyi senaryo sorgulama:

- Saha kontrolünün yeterliliği, sorumlu çalışanın sahip olduğu İSG Eğitimi ve sürece eşlik eden İSG denetim unsuruna bağlı görünmektedir. İlgili değişkenlerin en iyi durumları altında, diğer bir deyişle saha kontrolü yapma konusunda bilgili ve deneyimli bir çalışanın sürdürdüğü kontrol faaliyetine denetim sürecinin de gerektiği ölçüde eşlik etmesi durumunda, saha kontrolünün yeterliliği hakkında olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanların en iyi eğitim ve denetim performansları altında dahi, saha analizinin karmaşık yapısından dolayı yeterli düzeyde yapılması sağlanamayabilir. En iyi senaryo altında dahi saha kontrolü performansı için %5'lik bir yetersizlik payı öngörülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.48'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(Saha\ kontrolü_{Yeterli} | ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) &= 0{,}95 \\ P(Saha\ kontrolü_{Yetersiz} | ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) &= 0{,}05 \end{aligned} \tag{5.48}$$

En kötü senaryo sorgulama:

- Saha kontrolü, İSG Eğitimlerini yeterli düzeyde almamış bir çalışan tarafından gerçekleştirilip, sürece yeterli düzeyde bir İSG denetim unsurunun da eşlik etmesi sağlanmazsa, saha kontrolünün yeterliliği hakkında olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Saha kontrolünün, belirtilen durum altında ancak yarı yarıya yeterli doğrulukta belirleneceğine inanılabilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.49'da verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(Saha\ kontrolü_{Yeterli} | ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) &= 0{,}5 \\ P(Saha\ kontrolü_{Yetersiz} | ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) &= 0{,}5 \end{aligned} \tag{5.49}$$

Diğer durum kombinasyonları sorgulamaları:

Tutarlılık kontrol:

Benzer neden değişkenleri olan patlama uyarısı ve ateşleme sonrası kontrol faaliyetlerinin şartlı olasılık tablolarının uzmanlara gösterimi sağlanır. Uzmanların benzer nedenlere sahip üç faaliyeti, içerdikleri belirsizlik ve karmaşıklık durumlarına göre sıralamaları istenir.

Cevap: Belirtilen faaliyetlerin karmaşıklık ve belirsizlik unsurlarına göre büyükten küçüğe sıralaması "saha kontrolü >ateşleme sonrası kontrol> patlatma uyarısı" şeklindedir.

Çıkarım: Dolayısıyla, durum kombinasyonlarına atanan olasılık değerlerinin tutarlılık kontrolünün yapılması için bu sıralama ve aşağıdaki veriler kullanılabilir.

- $P(Ateşleme\ sonrası\ kontrol_{Yeterli} | ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0{,}9$
- $P(Ateşleme\ sonrası\ kontrol_{Yetersiz} | ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0{,}1$
- $P(Patlatma\ uyarısı_{Yeterli} | ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0{,}95$
- $P(Patlatma\ uyarısı_{Yetersiz} | ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0{,}05$

- Saha kontrolü yapma konusunda bilgili ve deneyimli bir çalışanın sürdürdüğü kontrol faaliyetine, İSG denetim unsuru eşlik etmediği takdirde, saha kontrolünün yeterliliği hakkında olasılıksal olarak ne söylenebilir? Denetimin yetersizliğinin sürecin başarısına olan etkisinin %5 ve %10 değerlerinden daha yüksek olması gerektiği düşünülür mü?

Cevap: Konusunda bilgili ve deneyimli bir çalışanın sürdürdüğü kontrol faaliyetine, İSG denetim unsuru eşlik etmediği takdirde, saha kontrolünün yeterliliği için %70 oranının beklenmesi uygundur.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.50'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(Saha\ kontrolü_{Yeterli} | ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) &= 0{,}7 \\ P(Saha\ kontrolü_{Yetersiz} | ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) &= 0{,}3 \end{aligned} \quad (5.50)$$

Tutarlılık kontrolü:

Benzer şekilde saha kontrolüne dair diğer durumsal sorgulama için uzmanlara benzer yapıdaki diğer çıkarımları hatırlatılır.

- $P(Ateşleme\ sonrası\ kontrol_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) = 0{,}95$
- $P(Ateşleme\ sonrası\ kontrol_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) = 0{,}05$
- $P(Patlatma\ uyarısı_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yeterli})$ =0,99
- $P(Patlatma\ uyarısı_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) = 0{,}01$
- Süreçlerin içerdiği karmaşıklık ve belirsizlik açısından sıralama: Saha kontrolü >ateşleme sonrası kontrol > patlatma uyarısı

- Saha kontrolünün gerçekleştirilmesinde, denetim unsurunun yeterli düzeyde sürece dahil edilmesine rağmen, sorumlu çalışanın konu ile ilgili bilgi ve deneyiminin yetersiz olması durumunda, saha kontrolünün yeterliliği hakkında olasılıksal olarak ne söylenebilir? Eğitim yetersizliğinin sürecin başarısına olan etkisinin %1 ve %5 değerlerinden daha yüksek olması gerektiği düşünülür mü?

Cevap: Faaliyetin konusunda bilgili ve deneyimli olmayan bir çalışan tarafından sürdürülmesine rağmen, İSG denetim unsurunun yeterli düzeyde sürece dahil edilmesi durumunda saha kontrolünün yetersizlik ihtimalinin %30 olarak verilmesi uygun görülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.51'de verildiği gibidir.

$$P(Saha\ kontrolü_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) = 0{,}7$$
$$P(Saha\ kontrolü_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) = 0{,}3 \quad (5.51)$$

Saha kontrolünün yeterliliği ve yetersizliği ile nedenleri arasındaki şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.21'de gösterilmiştir:

Çizelge 5.21 : 'Saha kontrolü' düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Eğitim	Yeterli		Yetersiz	
Denetim	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Yeterli	0,95	0,7	0,7	0,5
Yetersiz	0,05	0,3	0,3	0,5

5.3.4.14 Kavlak düşmesi

Yeraltı madenlerinde sıklıkla yaşanan çalışan üzerine kavlak düşmesi olayı, çoğunlukla jeolojik yapı sebepli meydana gelirken, sağlanan tahkimatlarla ve kontrollü kavlak düşürme faaliyetleri ile ilgili olayın yaşanmaması için önlemler alınmaya çalışılır.

En iyi senaryo sorgulaması:

- Kavlak düşmesi olaylarının nedenleri, jeolojik yapı, tahkimat alma yeterliliği ve kavlak düşürme faaliyetinin yeterliliğidir. Bu faktörlerin her birinin en iyi durumları altında, diğer bir deyişle, sağlam jeolojik yapı, güçlü bir tahkimat ve yeterli düzeyde gerçekleştirilmiş kontrollü kavlak düşürme sonrasında, kavlak düşmesi yaşanma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Jeolojik yapı eğer kırıklı değilse, yeterli tahkimat da sağlanırsa zaten kavlak oluşumu olabildiğince engelleneceği için, kavlak kontrolleri de yeterli şekilde yapılırsa kavlak düşmesi %99 ihtimalle gerçekleşmez.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.52'de verildiği gibidir.

$$P\left(Kavl.\,düşm._{Hayır} \mid Jeol.\,yapı_{Sağlam}, Tahk.\,etk._{Yeterli}, Kavl.\,düşürme_{Yeterli}\right) = 0{,}99$$
$$P\left(Kavl.\,düşm._{Evet} \mid Jeol.\,yapı_{Sağlam}, Tahk.\,etk._{Yeterli}, Kavl.\,düşürme_{Yeterli}\right) = 0{,}01 \quad (5.52)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Kavlak düşmesi nedenlerinin her birinin en kötü durumları altında, diğer bir deyişle, kırıklı jeolojik yapı, güçsüz bir tahkimat ve yeterli düzeyde gerçekleştirilmemiş kavlak düşürme faaliyeti sonrasında, kavlak düşmesi yaşanma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Jeolojik yapı eğer kırıklı yapıda ise ve yetersiz tahkimat ve kavlak düşürme faktörleri de olumsuz durumlar altında ise, %99 ihtimalle kavlak düşmesi yaşanır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.53'te verildiği gibidir.

$$P\left(Kavl.\,düşm._{Hayır} \mid Jeol.\,yapı_{Kırıklı}, Tahk.\,etk._{Yetersiz}, Kavl.\,düşürme_{Yetersiz}\right) = 0{,}01$$
$$P\left(Kavl.\,düşm._{Evet} \mid Jeol.\,yapı_{Kırıklı}, Tahk.\,etk._{Yetersiz}, Kavl.\,düşürme_{Yetersiz}\right) = 0{,}99 \quad (5.53)$$

Tutarlılık kontrolü:

- %99 ve %1 olasılık değerlerinin her ikisi de sınırdaki olasılık değerleridir. %100 ya da %0 değerlerinin kullanılmaması nasıl açıklanabilir?

Cevap: Kavlak düşmesi kendini belli eden bir olaydır. Yeraltı madenlerinde tavandan ya da yan duvarlardan sürekli parçalar kopar ve yere düşer. Çalışanların korunması ve faaliyetlerinin sürdürülebilirliğinin sağlanması için tahkimatlama sağlanır ve kavlak kontrolleri süreklilikle yapılır. İlgili neden, durumları en kötü şartlardaysa kavlak

parçaları mutlaka düşecektir. Fakat her ne kadar nedenler olumlu durumlar altında olsa da kavlak düşmesi tamamen kontrol edilebilen bir olay olmadığı için %100 ve %0 değerleri yerine, %99 ve %1 değerlerinin kullanılması uygun görülmüştür.

Tutarlılık kontrolü:

- Kavlak düşmesi nedenlerinin, kavlak düşmesi üzerindeki etki seviyelerine göre büyükten küçüğe sıralaması nasıldır?

Cevap: Jeolojik yapı > Kavlak düşürme > Tahkimat sağlama

Çıkarım: Dolayısıyla çıkarım sorgulamaları için öncelikle jeolojik yapının olumlu olduğu halinin sabitlenmesi ile diğer değişkenlerin durumsal kombinasyonları tarafından oluşturulabilen senaryolar sorulur.

Sağlam-Jeolojik yapı faktörü beraberinde diğer nedenlerin farklı durumsal kombinasyon sorgulamaları:

- Sağlam bir jeolojik yapı içerisinde bulunan bir kayaç bölgesi çalışması için tahkimatın etkin bir şekilde sağlanması, fakat kavlak düşürmenin yeterince yapılmaması durumunda kavlak düşmesi ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Kavlak düşürme faaliyetinin yeterince yapılmaması, kavlak düşmesi olayının çok önemli bir gerekçesi olacakken, tahkimatın sağlanması sağlam jeolojik yapı ile birlikte oldukça önemli düzeyde koruyucu etki yapacaktır. Dolayısıyla, kavlak düşürme faaliyetinin gerçekleştirilmemesi kavlak düşmesi ihtimali %10 olarak kabul edilebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.54'te verildiği gibidir.

$$P\left(Kavl.\,düşm._{Hayır} \,\middle|\, Jeol.\,yapı_{Sağlam}, Tahk.\,etk._{Yeterli}, Kavl.\,düşürme_{Yetersiz}\right) = 0{,}90$$
$$P\left(Kavl.\,düşm._{Evet} \,\middle|\, Jeol.\,yapı_{Sağlam}, Tahk.\,etk._{Yeterli}, Kavl.\,düşürme_{Yetersiz}\right) = 0{,}10 \quad (5.54)$$

- Sağlam jeolojik yapı içerisinde, kavlak düşürme faaliyetleri uygun şekilde yapılırsa, tahkimatın sağlanmaması kavlak düşmesi ihtimalini nasıl etkiler?

Cevap: Tahkimatın etkinliğine bağlı olmaksızın kavlak düşürme kendi başına önemli bir kavlak düşmesi önlemi olduğu için kavlak düşme ihtimalinin %5'e düşeceği varsayılabilir. Kavlak düşme olaylarının önüne geçebilmek için, kavlak düşürme faaliyeti, tahkimatın etkinliğinden daha etkili bir önlemdir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.55'te verildiği gibidir.

$$P(Kavl.\text{düşm.}_{Hayır} \mid Jeol.yapı_{Sağlam}, Tahk.etk._{Yetersiz}, Kavl.\text{düşürme}_{Yeterli}) = 0{,}95$$
$$P(Kavl.\text{düşm.}_{Evet} \mid Jeol.yapı_{Sağlam}, Tahk.etk._{Yetersiz}, Kavl.\text{düşürme}_{Yeterli}) = 0{,}05 \quad (5.55)$$

- Sağlam jeolojik yapı içerisinde, hem kavlak düşürme faaliyetleri uygun şekilde yapılmazsa, hem de tahkimat etkin bir şekilde sağlanmazsa kavlak düşmesi ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Jeolojik yapı sağlamken hem tahkimatın etkinliği hem de kavlak düşmesi yeterli bir şekilde sağlanmazsa, jeolojik yapının sağlam olması sebebiyle kavlak düşme ihtimali için %50 ifadesi uygun bir değerdir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.56'da verildiği gibidir.

$$P(Kavl.\text{düşm.}_{Hayır} \mid Jeol.yapı_{Sağlam}, Tahk.etk._{Yetersiz}, Kavl.\text{düşürme}_{Yetersiz}) = 0{,}5$$
$$P(Kavl.\text{düşm.}_{Evet} \mid Jeol.yapı_{Sağlam}, Tahk.etk._{Yetersiz}, Kavl.\text{düşürme}_{Yetersiz}) = 0{,}5 \quad (5.56)$$

Kırıklı-Jeolojik yapı faktörü beraberinde diğer nedenlerin farklı durumsal kombinasyonları sorgulamaları:

- Kavlak düşme olayları için en önemli değişkenin jeolojik yapının kırıklı olması olduğu belirtilmiştir. Kırıklı bir oluşum altında çalışırken hem kavlak düşürme hem tahkimat sağlama faaliyetlerinin yeterli düzeyde yapılması, kavlak düşmesine karşı ne kadar koruyucu olur?

Cevap: Yeraltı madenleri özellikle kırıklı jeolojik yapı ile beraberindeki olumsuz şartlarda kavlak düşmesinin mutlaka yaşanmasının beklendiği çalışma alanlarıdır. Kırıklı jeolojik yapı, diğer koşulların olumlu olmasına rağmen, kavlak düşmesinin yaşanmasında en büyük etken olmaya devam edecektir. Bu yüzden ilgili durumda kavlak düşmesi olayının yaşanma ihtimalinin %50 olacağı varsayılabilir.

Tutarlılık kontrol:

- Gerekli önlemler alınsa bile, kavlak düşmesinin yarı yarıya da olsa yine de yaşanması mı beklenir?

Cevap: Kavlak düşmesi madenlerde sürekli yaşanır, çalışanlar kopan maden parçalarından sıklıkla etkilenir. Ne kadar önlem alınırsa alınsın, eğer kırıklı bir yapı altında çalışılıyorsa, kavlak düşme olayı kolaylıkla engellenemez.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.57'de verildiği gibidir.

$$P(Kavl.düşm._{Hayır} \mid Jeol.yapı_{Kırıklı}, Tahk.etk._{Yeterli}, Kavl.alma_{Yeterli}) = 0{,}5$$
$$P(Kavl.düşm._{Evet} \mid Jeol.yapı_{Kırıklı}, Tahk.etk._{Yeterli}, Kavl.alma_{Yeterli}) = 0{,}5 \quad (5.57)$$

Tutarlılık kontrol:

- Kırıklı bir yapı altında kavlak düşmesi yaşanmaması için etkin tahkimat sağlanması mı daha fazla koruyucudur, kavlak düşürme faaliyeti mi?

Cevap: Öncelikle tahkimatın sağlamlığı çoğunlukla göçüklere karşı koruyucudur, kavlak parçalarının düşmemesi konusunda da daha çok uzun vadeli bir koruyucudur. Kavlaklar düşmeye hazır parçalar olduğu için, bu kavlakların alınması kısa vadede kavlak düşmesi olayı için yerinde ve önleyici bir tedbir olur. Bu yüzden kavlak düşürme faaliyeti, kırıklı yapı altında kavlak düşmesi için tahkimat sağlamadan daha fazla koruyucu etki gösterir.

- Kırıklı yapı içerisinde, diğer bir deyişle kavlak düşmesi riskinin yüksek olduğu ve kavlak düşürme faaliyetlerinin yeterince gerçekleştirilmediği bir bölgede tahkimatın yeterli düzeyde sağlanması kavlak düşmesi ihtimalini nereye taşır?

Tutarlılık kontrol:

Tahkimat, jeolojik yapı ve kavlak düşürme faktörlerinin olumsuz şartları altında, kavlak düşmesi için %99 ihtimal atanmıştır. Diğer bir deyişle, yalnızca tahkimatın sağlanması kavlak düşme ihtimalini ne kadar azaltır?

Cevap: Yalnızca tahkimat etkinliğinin sağlanması ile kavlak düşmesi kazalarında yalnızca %15 oranında iyileşme görmesi beklenebilir. Kavlak düşmesi ihtimalinin %85 olacağı varsayılabilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.58'de verildiği gibidir.

$$P(Kavl.düşm._{Hayır} \mid Jeol.yapı_{Kırıklı}, Tahk.etk._{Yeterli}, Kavl.alma_{Yetersiz}) = 0{,}15$$
$$P(Kavl.düşm._{Evet} \mid Jeol.yapı_{Kırıklı}, Tahk.etk._{Yeterli}, Kavl.alma_{Yetersiz}) = 0{,}85 \quad (5.58)$$

- Kırıklı yapı içerisinde, diğer bir deyişle yapının kavlak düşmesine oldukça meyilli olan bir bölgede, tahkimatın yeterli düzeyde sağlanmamasına rağmen, kavlak düşürme faaliyetinin yeterince gerçekleştirilmiş olması kavlak düşmesi için ne kadar koruyucu etki yaratır?

Cevap: Kırıklı bir yapıda, tahkimatın da yeterli düzeyde sağlanmadığı durumlarda, kavlak düşürmenin yeterli düzeyde yapılması, kavlak düşmesi riskini en fazla %25 oranında ortadan kaldırabilecektir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.59'da verildiği gibidir.

$$P\left(Kavl.düşm._{Hayır} \mid Jeol.yapı_{Kırıklı}, Tahk.etk._{Yetersiz}, Kavl.alma_{Yeterli}\right) = 0{,}25$$
$$P\left(Kavl.düşm._{Evet} \mid Jeol.yapı_{Kırıklı}, Tahk.etk._{Yetersiz}, Kavl.alma_{Yeterli}\right) = 0{,}75 \quad (5.59)$$

Tutarlılık kontrol:

Kırıklı bir maden oluşumu içerisinde, yalnızca kavlak düşürmek, tahkimat sağlama işleminden daha koruyucu olarak belirtilmiştir. İlişkili olasılık çıkarımlarında, kavlak düşürme işleminin yeterli yapılması kavlak düşmesine karşı %25 koruyucu olurken, yalnızca tahkimat sağlanması %15 koruyucu olmaktadır. Dolayısıyla yapılan olasılık çıkarımı tutarlıdır.

Olasılık çıkarımlarını kontrol etmeleri için uzmanlara Çizelge 5.22 sunulmuştur:

Çizelge 5.22 : Kavlak düşmesine dair olasılık çıkarımlarının kontrol edilmesi için uzmanlara sunulan tablo.

Jeolojik yapı	Kavlak düşürme	Tahkimatın etkinliği	Kavlak düşmesi olayı gerçekleşme ihtimali
+	+	+	0,01
+	+	-	0,05
+	-	+	0,10
+	-	-	0,50
-	+	+	0,50
-	+	-	0,75
-	-	+	0,85
-	-	-	0,99

Bu nedenle ilgili olayın şartlı olasılık değerleri aşağıdaki Çizelge 5.23'teki gibidir:

Çizelge 5.23 : 'Kavlak düşmesi" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları							
Jeolojik yapı	Sağlam				Kırıklı			
Kavlak düşürme	Yeterli		Yetersiz		Yeterli		Yetersiz	
Tahkimatın etkinliği	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Hayır	0,99	0,95	0,9	0,5	0,5	0,25	0,15	0,01
Evet	0,01	0,05	0,1	0,5	0,5	0,75	0,85	0,99

5.3.4.15 Kavlak düşürme

Kavlak düşürme faaliyeti, yeraltı madeni duvar ve tavanlarındaki kayaç parçalarının düşme ihtimallerinin olup olmadığının kontrolünü yapıp, düşmeye hazır olanlarının kontrollü bir şekilde düşürülmesinin sağlanmasıdır. Kavlak düşürme faaliyetinin yeterliliği, kavlak kontrolünün etkenliğine ve jeolojik yapıya bağlı görünmektedir. Kavlak düşürmenin etken değişkenlerine bağlı şartlı olasılık tablosu çıkarımı için aşağıdaki sorgulamalar yapılmıştır:

En iyi senaryo sorgulaması:

- Çalışılan yapının jeolojik olarak sağlam ve hangi parçaların düşürülüp düşürülmemesi gerektiğinin anlaşılmasının sağlandığı kavlak kontrollerinin yeterli düzeyde yapılması durumunda, kavlak düşürmenin yeterli düzeyde gerçekleştirilmesi için ne söylenebilir?

Cevap: Kavlak düşürme faaliyeti tüm önlemlere rağmen sıklıkla yaşanmaya devam eden bir olaydır. Dolayısıyla, madende fark edilemeyen çok fazla belirsizliğe sahiptir. Her ne kadar jeolojik yapı sağlam ve kavlak kontrolü en iyi şekilde yapılsa bile, kavlak düşürmenin etkenliğinin tam olarak sağlanamayacağı ve başarısızlık payı için %5 ihtimal bırakılması uygun olabilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.60'da verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P\left(Kavlak\ düşürme_{Yeterli} \middle| Jeolojik\ yapı_{Sağlam}, Kavlak\ kontrol_{Yeterli}\right) &= 0{,}95 \\ P\left(Kavlak\ düşürme_{Yetersiz} \middle| Jeolojik\ yapı_{Sağlam}, Kavlak\ kontrol_{Yeterli}\right) &= 0{,}05 \end{aligned} \tag{5.60}$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Çalışılan yapının jeolojik olarak kırıklı ve hangi parçaların düşürülüp düşürülmemesi gerektiğinin anlaşılamadan yapılmış bir kavlak kontrolü ile kavlak düşürme faaliyetinin başarısı için ne söylenebilir?

Cevap: Kavlak düşürme faaliyeti tüm önlemlere rağmen sıklıkla yaşanmaya devam eden bir olayken hem jeolojik yapı kırılgan hem de başarısız bir kavlak kontrolü süreci ile kavlak düşürmenin etkenliğinin %90 gerçekleştirilemeyeceği düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.61'de verildiği gibidir.

$$P(Kavlak\ düşürme_{Yeterli}|Jeolojik\ yapı_{Kırıklı}, Kavlak\ kontrol_{Yetersiz}) = 0{,}1$$
$$P(Kavlak\ düşürme_{Yetersiz}|Jeolojik\ yapı_{Kırıklı}, Kavlak\ kontrol_{Yetersiz}) = 0{,}9 \quad (5.61)$$

Diğer durum kombinasyonları sorgulaması:

- Çalışılan yapının jeolojik olarak sağlam olması, kavlak kontrolünün yetersiz gerçekleştirilmesi ile kavlak düşürme faaliyetinin etkinliğini nereye taşır?

Cevap: Kavlak düşürme faaliyeti, jeolojik yapının sağlam olduğu bir çalışma ortamında, kavlak kontrolünün yetersizliği ile birlikte, etkinliğinin yarı yarıya sağlanacağı düşünülebilir. Jeolojik yapının sağlamlığı kavlak düşürme faaliyetinin etkinliğini koruma etkisi gösterir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.62'de verildiği gibidir.

$$P(Kavlak\ düşürme_{Yeterli}|Jeolojik\ yapı_{Sağlam}, Kavlak\ kontrol_{Yetersiz}) = 0{,}5$$
$$P(Kavlak\ düşürme_{Yetersiz}|Jeolojik\ yapı_{Sağlam}, Kavlak\ kontrol_{Yetersiz}) = 0{,}5 \quad (5.62)$$

- Çalışılan yapının jeolojik olarak kırıklı olduğu ve kavlak kontrolünün yeterli gerçekleştirildiği bir çalışma ortamında sağlanan kavlak düşürme faaliyetinin etkinliği hakkında olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Jeolojik yapının kırıklı olması kavlak düşürme etkinliğini engelleyeceği için, kavlak kontrolü yeterli olsa bile kavlak düşürmenin en fazla %75 ihtimalle yeterli düzeyde gerçekleştirileceği varsayılabilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.63'te verildiği gibidir.

$$P(Kavlak\ düşürme_{Yeterli}|Jeolojik\ yapı_{Kırıklı}, Kavlak\ kontrol_{Yeterli}) = 0{,}25$$
$$P(Kavlak\ düşürme_{Yetersiz}|Jeolojik\ yapı_{Kırıklı}, Kavlak\ kontrol_{Yeterli}) = 0{,}75 \quad (5.63)$$

Kavlak düşürme faaliyetinin yeterliliği ve yetersizliği ile nedenleri arasındaki şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.24'te gösterilmiştir:

Çizelge 5.24 : 'Kavlak düşürme' düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Jeolojik yapı	Sağlam		Kırıklı	
Kavlak kontrol	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Yeterli	0,95	0,5	0,75	0,1
Yetersiz	0,05	0,5	0,25	0,9

5.3.4.16 Kavlak kontrol

Kavlak düşmesi kazalarının yaşanmaması için önemli önlem faaliyetlerinden olan kavlak düşürmenin, insan müdahalesi ile etkinliğine müdahale edebildiği tek faaliyet olan kavlak kontrolü etkinliğini belirleyen nedenler, çalışanın konuyla ilgili sahip olduğu İSG Eğitimi ve faaliyeti üzerindeki dikkat seviyesidir. Nedenlerinin kavlak kontrolü üzerindeki olasılıksal etkilerinin belirlenmesi için aşağıdaki sorgulamalar yapılmıştır:

En iyi senaryo sorgulaması:

- Çalışanın kavlak kontrolü ile ilgili İSG eğitiminin yeterli olduğu, diğer bir deyişle, düşmek üzere olan parçaları doğru bir şekilde tanımlayan bir çalışanın, kavlak kontrolünü büyük bir dikkatle gerçekleştirmesi durumunda, kavlak kontrolünün yeterliliği hakkında olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Çalışan kavlak kontrolü konusunda çok bilgili ve dikkatli de olsa, kavlak kontrolü içinde belirsizlikleri barındırdığı için yeterliliğinin sağlanması zor bir faaliyet olarak kabul edilebilir. Başarılı olma ihtimali %90 olarak ifade edilebilir.

Tutarlılık kontrolü:

- Yeraltı madenlerinde içinde belirsizlikleri barındıran çeşitli faaliyetlerin olduğu görülmektedir. Bu faaliyetlerin önlemler alınmasına rağmen tam anlamıyla engellenemeyen ya da değiştirilemeyen koşullar sunduğu anlaşılmaktadır. Belirsizlik konusunda saha kontrolü ve ateşleme sonrası kontrol de kavlak kontrolü ile aynı sınıfta değerlendirilebilir. Bu faaliyetlerin karmaşıklıklarına göre sıralaması nasıl yapılabilir?

Cevap: Kavlak kontrolü saha kontrolünden daha kolay, ateşleme sonrası kontrolden daha karmaşık kabul edilebilir.

Çıkarım: Bu faaliyetlerin karmaşıklık-belirsizlik seviyelerine göre sıralanması, “Kavlak kontrolü > Saha kontrolü > Ateşleme sonrası kontrol” şeklindedir. Dolayısıyla uzmana bu iki olaya dair şartlı olasılık değerlendirmeleri sunularak, belirsizlik sıralaması ile en iyi senaryolar altında faaliyetlerin yetersizliklerine dair atanan olasılıkların benzer sıralama içinde olması beklenir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.64’te verildiği gibidir.

$$P(Kavlak\ kontrol_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çalışan\ dikkati_{Yeterli}) = 0{,}9$$
$$P(Kavlak\ kontrol_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çalışan\ dikkati_{Yeterli}) = 0{,}1 \quad (5.64)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Çalışanın kavlak kontrolü ile ilgili İSG eğitiminin yetersiz ve faaliyeti gerçekleştirirken dikkatsiz olduğu durumlar için, çalışanın gerçekleştirdiği kavlak kontrolünün yeterliliği hakkında olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanın hem bilgisiz hem de dikkatsiz olması kavlak kontrolü konusunda performansının çok zayıf olacağının göstergesi olarak kabul edilir. Kavlak kontrolü hem ciddi bir bilgi hem de yüksek düzeyde dikkat gerektirir. Dolayısıyla ilgili durum için kavlak alma etkinliğinin *neredeyse her zaman* yetersiz gerçekleştirileceği söylenebilir. %90 uygun bir olasılıktır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.65'de verildiği gibidir.

$$P(Kavlak\ kontrol_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çalışan\ dikkati_{Yetersiz}) = 0{,}1$$
$$P(Kavlak\ kontrol_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çalışan\ dikkati_{Yetersiz}) = 0{,}9 \quad (5.65)$$

Diğer durum kombinasyonları sorgulamaları:

- Çalışanın kavlak parçalarını tanımlamada başarılı, fakat dikkat konusunda yeterli özeni gösteremediği bir performans altında, kavlak kontrolünün yeterliliği konusunda olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanın kavlak konusunda bilgili olmasına rağmen, kavlak alma faaliyeti süresince dikkatsiz olması, etkin bir şekilde yapılması zaten çok zor olan kavlak alma faaliyetindeki performansının ancak muhtemel olarak yeterli olmasını sağlayacaktır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.66'da verildiği gibidir.

$$P(Kavlak\ kontrol_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çalışan\ dikkati_{Yetersiz}) = 0{,}7$$
$$P(Kavlak\ kontrol_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çalışan\ dikkati_{Yetersiz}) = 0{,}3 \quad (5.66)$$

- Çalışanın ilgili İSG eğitim unsurlara sahip olmadığı için kavlak tanıma konusunda yetersiz olması durumunda, kavlak kontrol sürecini dikkatle yapması halinde kavlak kontrol performansı için ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanın kavlak konusunda bilgili olmaması, kavlak alma faaliyetinde tamamen başarısız olacağı yönünde düşünülmesine neden olsa da süreci dikkatle yönetmesi kavlak kontrolü performansının yarı yarıya yeterli olmasını sağlayabilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.67'de verildiği gibidir.

$$P(Kavlak\ kontrol_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çalışan\ dikkati_{Yeterli}) = 0{,}5$$
$$P(Kavlak\ kontrol_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çalışan\ dikkati_{Yeterli}) = 0{,}5 \quad (5.67)$$

Kavlak kontrol faaliyetinin yeterliliği ve yetersizliği ile nedenleri arasındaki şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.25'te gösterilmiştir:

Çizelge 5.25 : Kavlak kontrol' düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Eğitim	Yeterli		Yetersiz	
Çalışan dikkati	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Yeterli	0,9	0,7	0,5	0,1
Yetersiz	0,1	0,3	0,5	0,9

5.3.4.17 Tahkimat etkinliği

Kavlak düşmesi ve göçük kazalarının önlenmesi ve yeraltı madenlerinin sağlıklı bir şekilde işletilebilmesi için en temel faaliyetlerden olan tahkimatın etkinliğini belirleyen etkenler, jeolojik yapı ve tahkimatın kontrolü olarak görünmektedir. Etkenlerin tahkimatın etkinliği üzerindeki olasılıksal etkisi aşağıdaki gibi sorgulanmıştır:

En iyi senaryo sorgulaması:

- Çalışanın tahkimatın kontrolü ile ilgili yeterli bilgi birikimi olduğu ve çalışılan bölgenin de jeolojik olarak sağlam bir yapı içerisinde olduğu düşünüldüğünde, tahkimat etkinliğinin yeterli düzeyde yapılabilmesi ihtimali nedir?

Cevap: Tahkimat üzerindeki kayaç baskısından dolayı zamanla etkinliğini kaybeder. Etkinliğinin sağlanmasındaki en önemli etken tahkimatın kontrolünün başarılı bir şekilde sağlanmasıdır. Hem kontrolün yeterli sağlanması hem de çalışılan bölgenin sağlam bir yapı içerisinde bulunması tahkimatın etkinliğinin %99 oranında sağlanmasına imkân verecektir. %1'lik hata payının madenin doğası gereği pay bırakmak yerindedir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.68'de verildiği gibidir.

$$P(Tahkimatın\ etk._{Yeterli}\ |Tahkimatın\ kontrolü_{Yeterli}, Jeolojik\ yapı_{Sağlam}) = 0{,}99$$
$$P(Tahkimatın\ etk._{Yetersiz}\ |Tahkimatın\ kontrolü_{Yeterli}, Jeolojik\ yapı_{Sağlam}) = 0{,}01 \quad (5.68)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Jeolojik olarak kırıklı bir bölgede bulunan ve zamanla etkinliğini kaybetmeye meyilli olan tahkimatın, yeterli düzeyde kontrolünün sağlanmaması durumunda tahkimatın etkinliği için ne düşünülür?

Cevap: %90 olasılık değeri gibi, çok önemli düzeyde tahkimat etkinliğinin yetersiz olacağı düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.69'da verildiği gibidir.

$$P(Tahkimatın\ etk._{Yeterli}\ |Tahkimatın\ kontrolü_{Yetersiz}, Jeolojik\ yapı_{Kırıklı}) = 0{,}1$$
$$P(Tahkimatın\ etk._{Yetersiz}\ |Tahkimatın\ kontrolü_{Yetersiz}, Jeolojik\ yapı_{Kırıklı}) = 0{,}9 \quad (5.69)$$

Diğer durum kombinasyonları sorgulamaları:

- Jeolojik olarak kırıklı, diğer bir deyişle jeolojik olarak hareketli bir bölgedeki tahkimatın kontrolünün yeterli yapılması, tahkimatın etkinliğine hangi oranda güvenilmesini sağlayacaktır?

Cevap: Jeolojik olarak kırıklı da olsa tahkimatın etkinliğini belirleyen unsur tahkimatın sürekli kontrolü, diğer bir deyişle ihtiyaç duydukça yenilenerek güçlendirilmesidir. Dolayısıyla yeterli düzeyde sağlanan tahkimat kontrolleri %90 oranında -neredeyse her zaman için- tahkimatın etkinliğinin yeterli düzeyde olmasını sağlayacaktır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.70'de verildiği gibidir.

$$P(Tahkimatın\ etk._{Yeterli}\ |Tahkimatın\ kontrolü_{Yeterli}, Jeolojik\ yapı_{Kırıklı}) = 0{,}9$$
$$P(Tahkimatın\ etk._{Yetersiz}\ |Tahkimatın\ kontrolü_{Yeterli}, Jeolojik\ yapı_{Kırıklı}) = 0{,}1 \quad (5.70)$$

- Jeolojik olarak sağlam bir bölgede tahkimatın kontrolünün yetersiz yapılması tahkimatın etkinliğini hangi düzeye indirir?

Cevap: Jeolojik olarak sağlam bir bölgede olması, kayacın hareket halinde olmayacağından dolayı, tahkimat kontrolü tam olarak yapılmasa bile, tahkimatın etkinliğini muhtemel olarak %70 düzeyinde yeterli olmasını sağlayacaktır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.71'de verildiği gibidir.

$$P(Tahkimatın\ etk._{Yeterli}\ |Tahkimatın\ kontrolü_{Yetersiz}, Jeolojik\ yapı_{Sağlam}) = 0.7$$
$$P(Tahkimatın\ etk._{Yetersiz}|Tahkimatın\ kontrolü_{Yetersiz}, Jeolojik\ yapı_{Sağlam}) = 0.3 \quad (5.71)$$

Tahkimatın etkinliğinin bağlı olduğu belirtilen tahkimatın kontrolü ve jeolojik yapı arasındaki olasılıksal ilişki değerleri Çizelge 5.26'da gösterilmiştir:

Çizelge 5.26 : 'Tahkimat etkinliği düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Tahkimatın kontrolü	Yeterli		Yetersiz	
Jeolojik yapı	Sağlam	Kırıklı	Sağlam	Kırıklı
Yeterli	0,99	0,9	0,7	0,1
Yetersiz	0,01	0,1	0,3	0,9

5.3.4.18 Tahkimat kontrolü

Kavlak düşmesi ve göçük kazalarının önlenmesi için sağlanan tahkimatların etkinliğinin sağlanmasında jeolojik yapıya karşı gerçekleştirilen insan müdahalesi olarak yorumlanabilecek tahkimat kontrolünün yeterliliği, süreci gerçekleştiren çalışanın ilgili teknik seviyesi ve sürecin denetlenmesine bağlı görülmektedir.

En iyi senaryo sorgulaması:

- Tahkimatın kontrolü çalışanlar tarafından sağlanmakta ve kontrolün yeterliliği doğrudan çalışan performansına bağlı olduğu görünmektedir. Hem sorumlu çalışanın tahkimatın kontrolü ve yorumlanması konusunda yeterli eğitime sahip olması, hem de sürecin denetiminin gerekli düzeyde gerçekleştirilmesi durumunda tahkimatın kontrolünün yeterliliği için ne söylenebilir?

Cevap: Tıpkı diğer maden faaliyetleri gibi, insan hatası payı olarak %1 ihtimal bırakılarak, belirtilen şartlar altında %99 oranında tahkimat kontrolünün yeterliliğinin sağlanacağı beklenebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.72'de verildiği gibidir.

$$P(Tahkimat\ kontrol_{Yeterli}|ISG\ Denetim_{Yeterli}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}) = 0{,}99$$
$$P(Tahkimat\ kontrol_{Yetersiz}|ISG\ Denetim_{Yeterli}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}) = 0{,}01 \quad (5.72)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Tahkimatın kontrolü konusunda eğitim ile ilişkili bilgilere yeterince hâkim olmayan çalışanın bulunduğu bir maden alanında, ilgili denetlemenin de yetersiz olması durumunda tahkimat kontrolü faaliyetinin yeterliliği için ne söylenebilir?

Cevap: Tahkimatın kontrolünün yeterliliği doğrudan çalışana bağlı olduğu için, çalışanların beklenen performanslarının yetersiz düzeyde olması durumunda, tahkimatın kontrolünün etkinliğine ancak yarı yarıya güvenilebilir.

Tutarlılık kontrolü:

- Tamamen insana bağlı olmasına rağmen en kötü senaryo altında faaliyetin yetersizliği için daha fazla olasılık verilmemesinin nedeni nedir?

Cevap: Tahkimatın kontrolü tahkimat malzemesine yapılan görsel ve dokunsal muamelelerle gerçekleştirildiği ve madende kullanılan tahkimat malzemeleri ağaç olduğu için, yıprandığı zaman kendini kolaylıkla belli etmesi sebebiyle en kötü çalışan performansları altında dahi olasılığının yarı yarıya olması beklenir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.73'te verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(Tahkimat\ kontrol_{Yeterli} | ISG\ Denetim_{Yetersiz}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}) &= 0{,}5 \\ P(Tahkimat\ kontrol_{Yetersiz} | ISG\ Denetim_{Yetersiz}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}) &= 0{,}5 \end{aligned} \quad (5.73)$$

Tutarlılık kontrolü:

- Tahkimatın kontrolünün sağlanmasında denetim mi, çalışanın ilgili konu hakkındaki eğitim bilgisi mi daha etkilidir?

Cevap: Eğitimli bir çalışan ile denetleyici olarak çalışanın tahkimat kontrolü konusundaki performanslarının aynı olduğu düşünülebilir. Fakat, denetimci her zaman maden içinde olmayabilir. Dolayısıyla asıl önemli olan tahkimatın kontrolünden sorumlu çalışanın performansıdır.

Çıkarım: Denetimin yetersiz, eğitim unsurunun yeterli olduğu senaryodaki olumsuzluğu yansıtan olasılık değerinin, denetimin yeterli, eğitim unsurunun yetersiz olduğu senaryonun olumsuzluğu yansıtan olasılık değerinden daha küçük olması gerekir.

Diğer durum kombinasyonları sorgulamaları:

- Tahkimatın kontrolü konusunda yeterli bilgiye sahip olmayan bir çalışan ile gerekli düzeyde sağlanan denetim sürecinin yer aldığı bir alandaki tahkimat kontrolünün yeterliliği ile tahkimatı tanıma konusunda eğitimli-deneyimli olan bir çalışanın gerçekleştirdiği tahkimat kontrolü faaliyetinin yeteri düzeyde İSG denetimi ile desteklenmemesi durumunda ortaya çıkması beklenen tahkimat kontrolünün yeterliliği hakkında ne söylenebilir?

Cevap: Yeterli denetim, yetersiz eğitim senaryosunun yetersizliğini yansıtan olasılık değerinin 0.3, yetersiz denetim ve yeterli eğitim durumlarından oluşan senaryonun yetersizliğini yansıtan durumun olasılık değerinin ise 0,25 olarak belirtilmesi uygundur.

Çıkarım: Cevapların, tutarlılık kontrolünden edinilen bilgiye uygun olduğu görülür. İlişkili olasılık değerleri denklem 5.74'te verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(Tahkimat\ kontrol_{Yeterli}|ISG\ Denetim_{Yeterli}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}) &= 0{,}7 \\ P(Tahkimat\ kontroll_{Yetersiz}|ISG\ Denetim_{Yeterli}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}) &= 0{,}3 \\ P(Tahkimat\ kontrol_{Yeterli}|ISG\ Denetim_{Yetersiz}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}) &= 0{,}75 \\ P(Tahkimat\ kontrol_{Yetersiz}|ISG\ Denetim_{Yetersiz}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}) &= 0{,}25 \end{aligned} \quad (5.74)$$

Tahkimatın kontrolü ve nedenleri arasındaki olasılıksal ilişki değerleri Çizelge 5.27'de gösterilmiştir.

Çizelge 5.27 : 'Tahkimat kontrol' düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
İSG Denetim	Yeterli		Yetersiz	
İSG Eğitim	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Yeterli	0,99	0,7	0,75	0,5
Yetersiz	0,01	0,3	0,25	0,5

5.3.4.19 Fiziksel zorlanma

Yeraltı madenlerinde ekipman yaralanması gibi, sıklıkla meydana gelen diğer bir iş kazası da ağır faaliyetler sebepli fiziksel olarak vücudun zorlanmasıdır. Fiziksel zorlanmaların ana sebebi, çalışılan maden zeminindeki uygun olmayan koşullar ve çalışanların anlık dikkatsizlikleridir. Fiziksel zorlanmaların yaşanmaması için dikkat edilmesi gereken unsurlar çalışanlara İSG eğitimleri ile verilir.

Tutarlılık kontrolü:

- Gerçekleşmesinde üç nedenin etkili olduğu fiziksel zorlanmanın yaşanmasında, bu nedenlerin etki büyüklüklerine göre sıralaması nasıl yapılabilir?

Cevap: En önemli etken, hangi koşullarda nasıl hareket etmesi gerektiğini bilmesini sağlayan İSG eğitim, daha sonra çalışan dikkati ve maden çalışma zemini olarak sıralanabilir.

Tutarlılık kontrolü:

- Fiziksel zorlanmanın ekipman yaralanması ile aynı nedenlere bağlı ve nedenlerin aynı önem sıralamasıyla etkili olduğu gözlenmektedir. Çalışanların bu iki olaya dair meyilli olma durumları hakkında ne söylenebilir?

Cevap: Fiziksel zorlanma, çalışanların ekipmanla yaralanmaktan daha sık yaşadığı bir istenmeyen olaydır. Çalışanlar yeraltı maden faaliyetlerini sürdürürken, muhtemelen gerçekleştirdikleri faaliyete odaklandıkları için kolaylıkla kendilerini fiziksel olarak zorlayacakları bir harekete maruz bırakabilirler.

Çıkarım: Ekipman yaralanması ile aynı ebeveyn değişkenlerine sahip olan fiziksel zorlanma için benzer ebeveyn durumları altında kazaya daha meyilli olunduğunu gösteren olasılıklar verilmesi gerekmektedir. Bu bilgi tutarlılık için kontrol noktası olacaktır.

En iyi senaryo sorgulaması:

- Fiziksel zorlanmanın yaşanmasındaki unsurlar olan eğitim, zemin ve dikkat unsurlarının en iyi durum koşullarını yansıtmaları halinde, çalışanın fiziksel zorlanma yaşaması ihtimali için ne söylenebilir? Fiziksel zorlanma olayının ekipman yaralanmasından daha kolay gerçekleşebildiği belirtildiği için olasılık belirlemelerinde ekipman yaralanmasına dair oluşturulan şartlı olasılık tablosundan yararlanılmalıdır.

Cevap: En iyi durumda, tıpkı ekipman zorlanmasındaki ya da kavlak düşmesindeki gibi çok büyük ihtimalle çalışan kendini fiziksel zorlanmadan koruyacaktır. Çünkü eğitim seviyesi yeterli olan ve düzgün bir zeminde bulunan çalışan, herhangi bir zorlanma durumu yaşamamak için nasıl hareket etmesi gerektiğini bilir. Fakat yine de madenin doğası gereği gerektirdiği zorlu ve ağır faaliyetleri, ekipman yaralanmasının gerçekleşmeme olasılığı için 0,95 değer ataması yapılabilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.75'te verildiği gibidir.

$$P\left(Fiz.zorl._{Hayır} \left| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Düzgün}\right.\right) = 0{,}95$$
$$P\left(Fiz.zorl._{Evet} \left| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Düzgün}\right.\right) = 0{,}05 \quad (5.75)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Çalışanın düzgün olmayan bir zeminde faaliyet göstermesi, dikkatsiz olması ve kendini yaralamamak için faaliyetler boyunca nasıl hareket etmesi gerektiğini bilmemesi durumunda, fiziksel zorlanma yaşamasına dair olasılık için ne söylenebilir?

Cevap: En kötü şartlar altındaki çalışanın muhtemelen 0,7 olasılıkla fiziksel zorlanma yaşama ihtimali olduğu düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.76'da verildiği gibidir.

$$P\left(Fiz.zorl._{Hayır} \left| ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Engebeli}\right.\right) = 0{,}3$$
$$P\left(Fiz.zorl._{Evet} \left| ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Engebeli}\right.\right) = 0{,}7 \quad (5.76)$$

Yeterli-İSG eğitim faktörü beraberinde diğer nedenlerin farklı durumsal kombinasyonları sorgulamaları:

- Yeterli eğitim düzeyine ve dikkat seviyesine sahip bir çalışanın, düzgün olmayan zeminde faaliyet gösterirken, fiziksel zorlanma yaşaması ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Eğitim ve dikkat unsurları fiziksel zorlanma yaşanmasındaki en etkili nedenlerdir. Dolayısıyla %90 gibi yüksek bir olasılıkla fiziksel zorlanma yaşamayacaklarını söylemek mümkündür.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.77'de verildiği gibidir.

$$P\left(Fiz.zorl._{Hayır} \left| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Engebeli}\right.\right) = 0{,}9$$
$$P\left(Fiz.zorl._{Evet} \left| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Engebeli}\right.\right) = 0{,}1 \quad (5.77)$$

- Yeterli eğitim düzeyine sahip bir çalışanın, düzgün bir zeminde faaliyet gösterirken dikkatini kaybetmesi, fiziksel zorlanma yaşama ihtimalini nasıl etkiler?

Cevap: Dikkat, şartlar olumsuzlaştığında çalışanı kurtaran etkendir. Fakat şartlar olumlu durumdayken, dikkat unsuru çalışanın fiziksel zorlanma yaşama ihtimalini en fazla %20 oranında arttırabilir. Çünkü çalışanın yeterli eğitime sahip olması, kazalara karşı korunmasında dikkate olan ihtiyacını, diğer durumlara göre oldukça azaltacaktır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.78'de verildiği gibidir.

$$P\left(Fiz.zorl._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Düzgün}\right) = 0{,}8$$
$$P\left(Fiz.zorl._{Evet} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Düzgün}\right) = 0{,}2 \quad (5.78)$$

- Yeterli eğitim düzeyine sahip bir çalışanın engebeli zeminde faaliyet gösterirken dikkatini kaybetmesi, fiziksel zorlanma yaşama ihtimalini ne kadar arttırır?

Cevap: Hem zeminin hem dikkat seviyesinin olumsuz koşullarda olması, çalışan eğitimli de olsa çalışanın muhtemelen diğer bir deyişle 0,7 olasılıkla fiziksel zorlanma yaşamasına neden olur.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.79'da verildiği gibidir.

$$P\left(Fiz.zorl._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Engebeli}\right) = 0{,}7$$
$$P\left(Fiz.zorl._{Evet} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Engebeli}\right) = 0{,}3 \quad (5.79)$$

Yetersiz-İSG eğitim faktörü beraberinde diğer nedenlerin farklı durumsal kombinasyonları sorgulamaları:

- Yeterli düzeyde İSG eğitimi almamış bir çalışanın, düzgün bir zeminde, dikkatli bir şekilde faaliyet göstermesi durumunda, fiziksel zorlanma yaşaması ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanın herhangi bir fiziksel zorlanma yaşamamak için nasıl hareket etmesi gerektiğini bilmemesi durumunda, öncelikle dikkat ve zemin koşullarına bağlı, fiziksel zorlanma yaşama eğilimi giderek artacaktır. Dolayısıyla %40 gibi bir olasılıkla fiziksel zorlanma istenmeyen olayına maruz kalabileceği düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.80'de verildiği gibidir.

$$P\left(Fiz.zorl._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Düzgün}\right) = 0{,}6$$
$$P\left(Fiz.zorl._{Evet} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Düzgün}\right) = 0{,}4 \quad (5.80)$$

- Yeterli düzeyde İSG eğitimi almamış bir çalışanın engebeli bir zeminde, dikkatli bir şekilde faaliyet göstermesi durumunda fiziksel zorlanma yaşaması ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Çalışan dikkatli de olsa, eğer ilgili eğitim konusunda eksiklikleri varsa ve zeminin koşulları da elverişli değilse, fiziksel zorlanma yaşama ihtimali giderek artacaktır. 0,5 olasılıkla fiziksel bir zorlanma yaşama ihtimalinin olduğu düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.81'de verildiği gibidir.

$$P\left(Fiz.zorl._{Hayır} \left| ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Engebeli}\right.\right) = 0{,}5$$
$$P\left(Fiz.zorl._{Evet} \left| ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Engebeli}\right.\right) = 0{,}5 \quad (5.81)$$

- Yeterli düzeyde İSG eğitimi almamış ve dikkatsiz davranan bir çalışanın, düzgün zemindeki fiziksel zorlanma yaşama ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Yetersiz eğitim, yeterli dikkat ve engebeli zemin için atanan olasılık değeri ile en kötü senaryo için atanan olasılık değeri arasında kalması gerektiği için 0,6 olasılıkla çalışanın fiziksel zorlanma yaşayabileceği öngörülür.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.82'de verildiği gibidir.

$$P\left(Fiz.zorl._{Hayır} \left| ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Düzgün}\right.\right) = 0{,}4$$
$$P\left(Fiz.zorl._{Evet} \left| ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Düzgün}\right.\right) = 0{,}6 \quad (5.82)$$

Tutarlılık kontrolü: Benzer şartlar altındaki ekipman yaralanması olayı için atanan şartlı olasılık değerleri ile yapılan kıyaslamada, çalışanların fiziksel zorlanma yaşamaya daha meyilli oldukları görülüyor.

Çizelge 5.28'de uzmanlara olasılık çıkarımları kontrol amaçlı sunulur:

Çizelge 5.28 : Fiziksel zorlanma olayına dair olasılık çıkarımlarının kontrol edilmesi için uzmanlara sunulan tablo.

İSG Eğitim	Çalışan dikkati	Çalışma zemini	Fiziksel zorlanma olayı gerçekleşme ihtimali
+	+	+	0,05
+	+	-	0,10
+	-	+	0,20
+	-	-	0,30
-	+	+	0,40
-	+	-	0,50
-	-	+	0,60
-	-	-	0,70

Uzmanların ilgili çizelgeyi doğrulaması ile, fiziksel zorlanma ve nedenleri arasındaki olasılıksal ilişki değerleri Çizelge 5.29'da gibi gösterilir:

Çizelge 5.29 : 'Fiziksel zorlanma' düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları							
Eğitim	Yeterli				Yetersiz			
Dikkat	Yeterli		Yetersiz		Yeterli		Yetersiz	
Maden zemin	Düzgün	Engebeli	Düzgün	Engebeli	Düzgün	Engebeli	Düzgün	Engebeli
Hayır	0,95	0,90	0,80	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
Evet	0,05	0,10	0,20	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7

5.3.4.20 Düşme

Yeraltı madenlerinde faaliyet gösteren çalışanlar, faaliyetleri sırasında ya dikkat etmesi gereken kurallara hâkim olmamaları ya zemin şartları ya da anlık dikkat eksikliği sebepli sıklıkla düşme istenmeyen olayı yaşayabilirler. Düşme kazasının şiddeti çoğunlukla düşük olduğu için kayıt altına alınmayan ve kaza olarak nitelendirilmeyen, fakat İSG şartlarına göre aslında yaşanmaması gereken bir istenmeyen olay olduğu söylenebilir.

- Düşme kazasının nedenlerinin, ekipman yaralanması ve fiziksel zorlanma istenmeyen olayları ile aynı olduğu belirtiliyor. Düşme faaliyetinin bu olaylarla kıyaslanması hakkında ne söylenebilir?

Cevap: Düşme faaliyetinin fiziksel zorlanma istenmeyen olayı ile tamamen aynı koşullara ve olasılıklara sahip olduğu düşünülebilir. Ekipman yaralanmasından daha sık yaşanan düşme olayı, tıpkı fiziksel zorlanma olayının yaşanmasındaki gibi, çalışanın muhtemelen gerçekleştirdiği faaliyete odaklanması sebebiyle meydana gelmektedir. Örneğin yeraltı madeninde zorlu koşullarda yürürken çalışanın düşmesi çok normal karşılanırken, aynı şekilde zorlu koşullarda yürürken, çalışanın zemindeki yükseklik farkı yüzünden boşluğu fark etmeyip eklem ya da kas zedelenmesi yaşaması da aynı normallikte olup, sıklıkla yaşanan istenmeyen olaylardır.

Çıkarım: Dolayısıyla düşme olayının nedenlerine bağlı şartlı olasılık değerleri için fiziksel zorlanma olasılık değerleri kullanılabilir.

Düşme olayı ve nedenleri arasındaki olasılıksal ilişki değerleri Çizelge 5.30'da gösterilmiştir:

Çizelge 5.30 : 'Düşme' düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları							
Eğitim	Yeterli				Yetersiz			
Dikkat	Yeterli		Yetersiz		Yeterli		Yetersiz	
Maden zemin	Düzgün	Engebeli	Düzgün	Engebeli	Düzgün	Engebeli	Düzgün	Engebeli
Hayır	0,95	0,90	0,80	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
Evet	0,05	0,10	0,20	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7

5.3.4.21 Göçük

Yeraltı madenlerinin en ölümcül kazalarından kabul edilen göçük olayı jeolojik nedenler yüzünden meydana gelir ve sağlanan tahkimatlar, göçüklerin yaşanmaması için önleyici tedbir olarak kabul edilir.

En iyi senaryo sorgulaması:

- Kayaç yapısının sağlam olduğu bölgelerde, etkin tahkimatlama yapılması halinde, göçük riski için ne söylenebilir?

Cevap: Yeraltı madenlerinde ele alınan diğer kazalarda olduğu gibi çoğu önlem, kazaların %100 olarak önüne geçmemektedir. Bu yüzden en sağlam kayaçlar altında, en etkili şekilde sağlanan tahkimatlar altında çalışırken bile, doğanın bilinmeyenleri sebebiyle %1 seviyesinde bir göçük gerçekleşme payı bırakmak yerinde bir karardır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.83'te verildiği gibidir.

$$P\left(\text{Göçük}_{Hayır} \middle| Tahk.etk._{Yeterli}, Jeol.yapı_{Sağlam}\right) = 0.99$$
$$P\left(\text{Göçük}_{Evet} \middle| Tahk.etk._{Yeterli}, Jeol.yapı_{Sağlam}\right) = 0.01 \quad (5.83)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Göçük için riskli kabul edildiği bilinen kırıklı jeolojik yapı altında, yeterli düzeyde sağlanmamış tahkimat altında çalışılan bir bölgedeki mevcut göçük riski için ne söylenebilir?

Cevap: 'Muhtemelen göçük olur' şeklinde ifade etmek mümkündür. Her ne kadar krom madenleri göçüklerin kolaylıkla yaşandığı maden türleri içinde olmasa da tahkimatın etkin olmaması, madeni göçüğe meyilli yapacaktır. Krom madenlerinde de en kırıklı yapıda bile belli bir kayaç sağlamlığı söz konusu olduğu için göçük olayının yaşanmasına dair daha yüksek bir olasılık değeri atanmamıştır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.84'te verildiği gibidir.

$$P(\text{Göçük}_{Hayır}|Tahk.etk._{Yetersiz}, Jeol.yapı_{Kırıklı}) = 0{,}3$$
$$P(\text{Göçük}_{Evet}|Tahk.etk._{Yetersiz}, Jeol.yapı_{Kırıklı}) = 0{,}7 \quad (5.84)$$

Tutarlılık kontrol:

- Göçüğün yaşanmamasında jeolojik bölgenin sağlamlığı mı, tahkimatın etkinliği mi daha güçlü bir etki yaratır?

Cevap: Jeolojik yapının sağlam olması madenlerde göçük yaşanmaması konusunda önemli bir avantaj yaratır. Krom madeninin kendine özgü sert yapısı, göçük olaylarına karşı daha dayanıklı olmasını sağlar. Fakat jeolojik yapı nasıl olursa olsun, tahkimatın yeterliliğinin sağlanması ile göçük kazalarının önüne geçilir.

Çıkarım: Dolayısıyla tahkimatın etkinliğinin sağlanması, göçük olaylarının yaşanmamasında jeolojik yapıya göre daha önemli bir etki yaratır.

Diğer durum kombinasyonları sorgulama:

- Jeolojik yapının kırıklı olduğu bir bölgede, tahkimatın etkinliğinin sağlanmasıyla göçük riski olasılığı için ne söylenebilir?

Cevap: Tahkimatın sağlamlığı göçük kazasının önüne geçer. Genellikle göçük kazası yaşanmaz şeklinde ifade edilerek, kazanın yaşanmaması ihtimalinin de %90 olması kabul edilebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.85'te verildiği gibidir.

$$P(\text{Göçük}_{Hayır}|Tahk.etk._{Yeterli}, Jeol.yapı_{Kırıklı}) = 0{,}9$$
$$P(\text{Göçük}_{Evet}|Tahk.etk._{Yeterli}, Jeol.yapı_{Kırıklı}) = 0{,}1 \quad (5.85)$$

- Sağlam jeolojik yapı altında tahkimat yetersiz de sağlansa göçük riski için ne söylenebilir?

Cevap: Jeolojik yapının sağlam olması göçüğe karşı koruyucu bir etki yapar ve göçük kazası yaşanmamasının muhtemel olduğu belirtilerek, göçük kazasının gerçekleşme olasılığı için 0,3 olasılık değeri ataması yapılabilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.86'da verildiği gibidir.

$$P\left(\text{Göçük}_{Hayır} \middle| Tahk.etk._{Yetersiz}, Jeol.yapı_{Sağlam}\right) = 0{,}7$$
$$P\left(\text{Göçük}_{Evet} \middle| Tahk.etk._{Yetersiz}, Jeol.yapı_{Sağlam}\right) = 0{,}3 \quad (5.86)$$

Göçük olayının şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.31'deki gibi belirtilebilir:

Çizelge 5.31 : "Göçük" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Tahkimatın etkinliği	Yeterli		Yetersiz	
Jeolojik yapı	Sağlam	Kırıklı	Sağlam	Kırıklı
Hayır	0,99	0,9	0,7	0,3
Evet	0,00	0,1	0,3	0,7

5.3.4.22 Yeraltı kepçesi devrilmesi

Yeraltında kullanılan kepçe devrilmesinin temel nedeni olarak zemin koşulları ve kepçe operatörünün dikkat seviyesi öne sürülürken, aracın kontrolünü hangi şartlarda nasıl sağlaması gerektiğini bilmesini sağlayan İSG eğitim unsuru da bu tür bir kazanın yaşanmasına dair alınan önlem olarak ifade edilebilir.

- Yeraltı kepçesi devrilmesi olayının nedenleri, çalışanın dikkat etmesi gereken kurallara olan hakimiyetini belirleyen İSG eğitim ve dikkat seviyesi ile zemin koşulları olduğu görünmektedir. Bu nedenlerin, kepçe devrilmesi olayının yaşanması konusundaki önem sıralaması hakkında ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanların iş güvenliği ile ilişkili hatalı davranış ve tutumda bulunmamalarının en önemli sağlayıcısı eğitim olarak kabul edilebilir. Bu yüzden en önemli unsur eğitim, daha sonra ise çalışanın anlık dikkati olarak kabul edilebilir. Çalışma zemini de kepçe devrilmesi kazalarının yaşanmamasında önemli bir etken olup, eğitim ve dikkat unsurlarından sonra ele alınabilir.

Çıkarım: Olasılık çıkarımlarının, nedenlerin "İSG Eğitim > Çalışan dikkati > Çalışma Zemini" önem sıralaması ile tutarlı oluşturulmasına dikkat edilir.

Tutarlılık kontrol:

- Yeraltı kepçesi devrilmesi kazasının yaşanma sıklığı konusunda ekipman yaralanması, fiziksel zorlanma ve düşme kazalarıyla kıyaslanması istendiği takdirde, ne söylenebilir?

Cevap: Yeraltı kepçesi devrilmesinin, yakın geçmişte yaşanmış olmasına rağmen, diğer istenmeyen olaylara göre çok ciddi oranda nadir yaşanan bir olay olduğu

söylenebilir. Çünkü belirtilen diğer kazalar çalışanlar tarafından her gün sıklıkla yaşanmaktadır.

Çıkarım: Diğer istenmeyen olayların şartlı olasılık tabloları uzmanlara sunularak, ilişkili değerler vermeleri istenir.

En iyi senaryo sorgulama:

- Çalışanın bilgisi, dikkati ve zemin koşulları unsurlarının tamamen olumlu şartlar altında ele alınması durumunda, yeraltı kepçesinin devrilme ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Tüm diğer insan faaliyetlerinde olduğu gibi %99 olasılıkla herhangi bir devrilme kazasının yaşanmayacağı düşünülür fakat %1 oranında da olsa bir hata payı bırakılır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.87'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P\left(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \middle| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Düzgün}\right) &= 0{,}99 \\ P\left(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \middle| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Düzgün}\right) &= 0{,}01 \end{aligned} \quad (5.87)$$

En kötü senaryo sorgulama:

- Çalışanın bilgisi, dikkati ve zemin koşulları unsurlarının tamamen olumsuz şartlar altında olması durumunda, yeraltı kepçesinin devrilme ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Tüm diğer insan faaliyetlerinden farklı olarak, kepçe devrilmesi motorlu bir ekipman kazası olduğu için, yaşanma sıklığının ihtimali için düşük ifadesinde bulunmak yerinde bir yaklaşım olacaktır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.88'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P\left(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \middle| ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Engebeli}\right) &= 0{,}7 \\ P\left(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \middle| ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Engebeli}\right) &= 0{,}3 \end{aligned} \quad (5.88)$$

Yeterli-İSG eğitim faktörü beraberinde diğer nedenlerin farklı durumsal kombinasyonları sorgulamaları:

- Kepçe devrilmesi kazasında en önemli unsurlar olan çalışanın eğitim ve dikkat seviyesinin yeterli düzeyde olması ve zemin koşullarının olumsuz olması halinde kepçe devrilmesi kazası ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanın motorlu bir araç olan yeraltı kepçesini kullanırken dikkat etmesi gereken kurallara olan hakimiyetinin ve dikkatinin yeterli seviyede olması durumunda, zemin koşulları olumsuz da olsa, kaza yaşanma ihtimalinin yüksek olması beklenmez. Fakat en iyi senaryo durumuna kıyasla bir fark olması gerektiği için ilgili olasılığın 0,01 azaltılması ile belirtilen şartlar altında yeraltı kepçesi devrilme kazasının 0,02 olasılıkla gerçekleşeceğini kabul etmek uygundur.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.89'da verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P\left(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \middle| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Engebeli}\right) &= 0{,}98 \\ P\left(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \middle| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Engebeli}\right) &= 0{,}02 \end{aligned} \quad (5.89)$$

- İSG eğitim konusunda yeterli bilgiye sahip bir kepçe operatörünün, düzgün bir çalışma zemininde dikkatinin yeterli düzeyde olmaması durumunda, kepçe devrilmesi kazasının yaşanma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanın yeterli düzeyde eğitiminin olması ve çalışılan zeminin düzgün olması dikkatsiz de olsa kepçe devrilmesi kazası ihtimalinin ciddi düzeyde artmasına neden olmayacaktır. Tıpkı araba sürerken trafiğin uygun koşullarda olması durumunda kurallara uyan bir sürücünün anlık dikkatini kaybetse bile kolaylıkla kaza yapmaması gibi algılanması mümkündür. Dolayısıyla zemin koşullarının ve eğitim seviyesinin yeterliliği, sürecin yönetilmesinde dikkate olan ihtiyacı olabildiğince azaltır. İlgili koşullar altında yeraltı kepçesi devrilmesi ihtimalini 0,05 olarak vermek uygundur.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.90'da verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P\left(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \middle| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Düzgün}\right) &= 0{,}95 \\ P\left(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \middle| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Düzgün}\right) &= 0{,}05 \end{aligned} \quad (5.90)$$

- Kepçe operatörünün yeterli eğitim seviyesinde olmasına rağmen, uygun olmayan zemin koşullarında faaliyet gösterirken dikkatini kaybetmesi durumunda, yeraltı kepçesinin devrilmesi ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanın, motorlu bir araç olan yeraltı kepçesini kullanırken İSG eğitimlerinde sağlanan önemli kurallara uyma davranışının geliştirilmesi, engebeli bir zeminde faaliyet gösterirken, dikkat sorunu da yaşasa, kepçe devrilmesi yaşaması ihtimalini %10 gibi düşük seviyede tutmaya devam edecektir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.91'de verildiği gibidir.

$$P(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Engebeli}) = 0{,}9$$
$$P(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Engebeli}) = 0{,}1 \quad (5.91)$$

Yetersiz-İSG eğitim faktörü beraberinde diğer nedenlerin farklı durumsal kombinasyon sorgulamaları:

- Kepçe devrilmesi kazasında en önemli unsurlardan olan çalışanın operatörlük faaliyeti süresince uyması gereken kurallara dair hakimiyetinin olmaması, dikkat ve zemin koşullarının olumlu olmasına rağmen, kepçe devrilmesi kaza ihtimalini arttırır mı?

Cevap: Çalışanın motorlu bir araç olan yeraltı kepçesini kullanırken dikkat etmesi gereken kurallara olan hâkim olmaması, diğer koşullar iyi olsa da kepçenin devrilmesi kazasının yaşanma ihtimalini 0,15 değerinde artmasına neden olabileceği söylenebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.92'de verildiği gibidir.

$$P(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Düzgün}) = 0{,}85$$
$$P(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Düzgün}) = 0{,}15 \quad (5.92)$$

- Kepçe operatörünün İSG eğitim ile ilişkili konulara hâkim olmaması, diğer bir deyişle hata yapmaya meyilli olması, uygun olmayan zemin koşullarında faaliyet gösterirken dikkatli de olsa, yeraltı kepçesinin devrilmesi istenmeyen olayının yaşaması ihtimalini arttırır mı?

Cevap: Çalışanın İSG konusunda yetersiz eğitim seviyesinde olmasının ve faaliyet gösterdiği alanın da zorlu zemin koşullarına sahip olmasının, dikkatli de olsa kepçe devrilmesi ihtimalini 0,2 değerine taşıyacağı düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.93'te verildiği gibidir.

$$P(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Engebeli}) = 0{,}8$$
$$P(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yeterli}, Çal.zemini_{Engebeli}) = 0{,}2 \quad (5.93)$$

- Kepçe operatörünün İSG kurallarına hâkim olmaması ve anlık dikkatini de kaybetmesi durumunda, düzgün bir zeminde faaliyet gösterirken, kepçe devrilmesi kazasını yaşaması olasılığı için ne söylenebilir?

Cevap: Hem eğitim hem dikkat unsurlarının olumsuz olması, çalışanı en kötü senaryoya yaklaştırdığı için, kepçe devrilmesi ihtimali için 0,25 değerinin verilmesi uygundur.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.94'te verildiği gibidir.

$$P\left(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Düzgün}\right) = 0{,}75$$
$$P\left(Kepçe\ Devrl._{Hayır} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.Dikkati_{Yetersiz}, Çal.zemini_{Düzgün}\right) = 0{,}25 \quad (5.94)$$

Çizelge 5.32'de uzman yargılarıyla oluşturulmuş olasılık çıkarımları tablo haline getirilerek uzmanlara kontrol amaçlı sunulur:

Çizelge 5.32 : Yeraltı kepçesi devrilmesi olayı olasılık kontrol tablosu.

İSG Eğitim	Çalışan dikkati	Çalışma zemini	Fiziksel zorlanma olayı gerçekleşme ihtimali
+	+	+	0,01
+	+	-	0,02
+	-	+	0,05
+	-	-	0,1
-	+	+	0,15
-	+	-	0,2
-	-	+	0,25
-	-	-	0,30

Tutarlılık kontrolü: Çizelge 5.32'de belirtilen olasılık değerleri, uzmanlar tarafından verilen olay içi nedenlerin önem sıralamasına ve çalışma içindeki diğer istenmeyen olaylarla ilişkili yapılan sıralamaya uygunluk göstermektedir. Yeraltı kepçesi devrilmesi olayının olasılık değerleri Çizelge 5.33'de gösterilmiştir:

Çizelge 5.33 : "Yeraltı kepçesi devrilmesi" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları							
Eğitim	Yeterli				Yetersiz			
Dikkat	Yeterli		Yetersiz		Yeterli		Yetersiz	
Maden zemin	Düzgün	Engebeli	Düzgün	Engebeli	Düzgün	Engebeli	Düzgün	Engebeli
Hayır	0,99	0,98	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
Evet	0,01	0,02	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3

5.3.4.23 Aracın çalışana çarpması

Aracın çalışana çarpması olayının, operatör kaynaklı ve araç arızası kaynaklı iki şekilde meydana geldiği bilinmektedir.

Genel durum sorgulaması:

- Aracın çalışana çarpması olayı ile operatör kaynaklı çarpma ve araç arızası kaynaklı çarpma olayları arasındaki ilişki nasıl açıklanır?

Cevap: Aracın operatör kaynaklı çalışana çarpması ile araç arızası kaynaklı çalışana çarpması, aracın çalışana çarpması olayının yaşanma türleridir.

Çıkarım: Olaylar birbirine 'veya mantık kapısı' ile bağlıdır.

- İki olayın, birbirini etkileme ya da bir arada gerçekleşme olasılığı var mıdır?

Cevap: Nedenlerin bir arada gerçekleşme olasılığı yoktur.

Çıkarım: Olaylar birbirinden bağımsız ve tamamen ayrık olaylar kabul edilip, bir arada meydana gelme olasılıkları da 0 kabul edilir. İlişkili olasılık değerleri denklem 5.95'te verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} &P\left(Aracın\ çalışana\ çarpması_{Evet} \middle| Operatör\ kayn._{Hayır}, Araç\ arızası\ kayn._{Hayır}\right) = 0 \\ &P\left(Aracın\ çalışana\ çarpması_{Evet} \middle| Operatör\ kayn._{Hayır}, Araç\ arızası\ kayn._{Evet}\right) = 1 \\ &P\left(Aracın\ çalışana\ çarpması_{Evet} \middle| Operatör\ kayn._{Evet}, Araç\ arızası\ kayn._{Hayır}\right) = 1 \\ &P\left(Aracın\ çalışana\ çarpması_{Evet} \middle| Operatör\ kayn._{Evet}, Araç\ arızası\ kayn._{Evet}\right) = 0 \end{aligned} \quad (5.95)$$

Aracın çalışana çarpması olayı ile ilgili şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.34'te gösterildiği gibidir:

Çizelge 5.34 : "Aracın çalışana çarpması" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Operatör kaynaklı	Hayır		Evet	
Araç arızası	Hayır	Evet	Hayır	Evet
Hayır	1	0	0	1
Evet	0	1	1	0

5.3.4.24 Operatör kaynaklı aracın çalışana çarpması

Çalışana, operatör kaynaklı araç çarpması olayının meydana gelmesindeki etkin nedenler, yeraltı kepçesi devrilmesi olayının nedenleri ile aynıdır. Yeraltı kepçesinin devrilmesi olayı eğitim, dikkat ve çalışma zemini kök nedenlerinden etkilenen operatör kontrolünde gerçekleşirken yeraltı kepçesinin araca çarpması olayı da aynı kök nedenlerle gerçekleşir. Her ikisi için de en önemli unsurlar, İSG ile ilişkili kurallara uyma tutumu ve davranışlarının temel sağlayanı olan eğitim faktörü ve

olumsuz maden koşullarında her zaman sağlanması gereken yüksek dikkat seviyesidir. Ayrıca yaşanma sıklığı ile ilişkili olarak her ikisinin de geçmiş kaza raporlarında yalnızca birer kere yaşandığının gözlenmesi, uzmanların ve analist ortak görüşüyle şartlı olasılık değerlerinin aynı kabul edilmesi için destekleyici nedenler olarak kabul edilmişlerdir.

Aracın çalışana çarpması olayının olasılık değerleri Çizelge 5.35'teki gibidir:

Çizelge 5.35 : "Operatör sebepli aracın çalışana çarpması" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları							
Eğitim	Yeterli				Yetersiz			
Dikkat	Yeterli		Yetersiz		Yeterli		Yetersiz	
Maden zemin	Düzgün	Engebeli	Düzgün	Engebeli	Düzgün	Engebeli	Düzgün	Engebeli
Hayır	0,99	0,98	0,95	0,9	0,85	0,8	0,75	0,7
Evet	0,01	0,02	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3

5.3.4.25 Araç arızası

Aracın çalışana araç arızası sebepli çarpması olayının önemli değişkeni olan, araç operatörünün istediği bir manevrayı yapmasını engelleyecek ölçüde bir araç arızası yaşanma ihtimali aşağıdaki gibi sorgulanmıştır.

En iyi senaryo sorgulaması:

- Aracın operatöre istediği manevrayı yapmasını engelleyeceği bir arızanın yaşanması olayında bakımın etkisi olasılıksal olarak nasıl değerlendirilebilir?

Cevap: Bakımları düzenli ve yeterli düzeyde sağlanan bir aracın, belirtildiği gibi bir arıza vermesi ihtimali için 0,001 olasılığını vermek mümkündür.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.96'da verildiği gibidir.

$$P\left(Araç\ arızası_{Hayır} \middle| Bakım_{Yeterli}\right) = 0{,}999$$
$$P\left(Araç\ arızası_{Evet} | Bakım_{Yeterli}\right) = 0{,}001 \quad (5.96)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- İlgili bakımların yetersiz sağlanması durumunda aracın operatöre istediği manevrayı yapmasını engelleyeceği bir arızanın yaşanması olasılığı için ne söylenebilir?

Cevap: Bakımları düzenli ve yeterli düzeyde sağlanmayan bir aracın operatöre istediği manevrayı yapmasını engelleyeceği türde bir arızanın yaşanması ihtimali için daha önce hiç karşılaşılmadığı için 0,1 olasılık değerini vermek mümkündür.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.97'de verildiği gibidir.

$$P(Araç\ arızası_{Hayır}|Bakım_{Yetersiz}) = 0{,}9$$
$$P(Araç\ arızası_{Evet}|Bakım_{Yetersiz}) = 0{,}1 \quad (5.97)$$

Araç arızası düşüş olayının şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.36'da belirtilmiştir:

Çizelge 5.36 : "Araç arızası" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları	
Bakım	Yeterli	Yetersiz
Hayır	0,999	0,9
Evet	0,001	0,1

5.3.4.26 Çalışanın üzerine malzeme düşmesi

Yeraltı madenlerinde malzemenin taşınması için kullanılan vagonların kullanımı, vagoncu için İSG ile ilişkili pek çok tehlike içermektedir. Bunlardan birisi de çalışanın üzerine malzeme düşmesidir. Vagoncu tarafından sürülen vagonlar raylar üzerinde ilerlerken, manevra yaparken, oluk önünde üzerine malzeme doldururken ya da kafese itilirken gibi çeşitli faaliyetler kapsamında çalışanın sahip olduğu İSG eğitimi, vagonun üzerinde hareket ettiği rayların aşınması ya da dikkatsizlik sebepli, sarsılan vagon üzerinden vagoncunun üzerine malzeme düşebilmektedir.

Genel durum sorgulama:

- Çalışanın üzerine malzeme düşmesinin nedenlerinin ikisi çalışmada ele alınan kök nedenlerken; 'ray kalitesi' değişkeninin ise bir kök neden olmadığı görünmektedir. Ray kalitesinin ve eğitim ve dikkat kök nedenlerinin, çalışanın üzerine malzeme düşmesi olayındaki etken payları hakkında ne söylenebilir?

Cevap: Vagoncu ya da rayları denetleyen çalışanların, rayların zamanla aşınma durumunu fark etmemesi ile vagon faaliyetleri sürdürülürken, vagonlar devrilebilmekte ya da sarsıntılar sebepli, vagondan malzeme düşüp çalışanın yaralanmasına neden olmaktadır. Bu durumların yaşanmaması için İSG eğitimleri aracılığıyla vagon faaliyetleri ile ilişkili uyulması gereken güvenlik kurallarının

çalışanlara aktarılması gerçekleştirilirken, sürdürülen faaliyetin aksilik çıkmasına çok meyilli bir faaliyet olması sebepli, çalışanı olası yaralanmalardan kurtaracak tek unsur çalışan dikkatidir.

Tutarlılık kontrol:

- Çalışanın üzerine malzeme düşmesi olayında, nedenlerin etki seviyelerine göre sıralaması nasıldır?

Cevap: Çalışanın üzerine malzeme düşmesinde en önemli unsurun ray kalitesi, daha sonra eğitim, daha sonra da çalışan dikkati olduğu söylenebilir.

Çıkarım: Olasılık çıkarım sorgulamalarındaki sıra ve olasılık değerlerinin kontrolü bu sıralamaya göre yapılacaktır.

Tutarlılık kontrol:

- Fiziksel zorlanma ve ekipman yaralanması gibi üç değişkene bağlı olarak gerçekleştiği belirtilen çalışanın üzerine malzeme düşmesi olayının, yaşanma sıklığı için bu olaylarla kıyaslanması durumunda, fiziksel zorlanmanın, ekipman yaralanmasından daha sık yaşandığı da göz önüne alınarak, ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanların faaliyetleri süresince vagon üzerinden malzeme düşmesi sebepli yaralanmasının, fiziksel zorlanma gibi sıkça yaşanan bir kaza olduğu söylenebilir.

Çıkarım: Olasılık çıkarım değerleri, fiziksel zorlanma olayının şartlı olasılık değerleri ile kıyaslanabilir.

En iyi senaryo sorgulaması:

- Ray kalitesinin yeterli düzeyde olduğu, çalışanın gerekli İSG kurallarına hâkim olduğu ve dikkatli şekilde sürdürdüğü bir vagonlu faaliyet süresince üzerine malzeme düşme ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: %99 ihtimalle herhangi bir istenmeyen olay olması beklenmez. Tamamen insan performansına bağlı bir faaliyet olması sebepli, diğer istenmeyen olaylara dair yapılan olasılık çıkarımlarındaki gibi %1'de olsa kaza riski için bir ihtimal bırakmak gerekir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.98'de verildiği gibidir:

$$P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{Hayır} | \text{Ray kalitesi}_{Yeterli}, \text{ISG Eğitim}_{Yeterli}, \text{Çal. dikkati}_{Yeterli}) = 0{,}99$$
$$P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{Evet} | \text{Ray kalitesi}_{Yetersiz}, \text{ISG Eğitim}_{Yeterli}, \text{Çal. dikkati}_{Yeterli}) = 0{,}01 \quad (5.98)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Vagonun, ray kalitesinin yetersiz olduğu bir yol üzerinde, dikkatsiz ve ilgili eğitim kurallarına hâkim olmayan bir çalışan tarafından kullanılıyor olması halinde, çalışanın üzerine malzeme düşmesi ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Bu şartlar altında faaliyet gösteren bir çalışanın üzerine vagondan malzeme düşmesinin neredeyse her zaman gerçekleşeceği söylenebilir. 0,9 ilgili olasılık değeri için uygun bir değerdir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.99'da verildiği gibidir:

$$P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{Hayır} | \text{Ray kal.}_{Yetersiz}, \text{ISG Eğitim}_{Yetersiz}, \text{Çal. dikkati}_{Yetersiz}) = 0{,}1$$
$$P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{Evet} | \text{Ray kal.}_{Yetersiz}, \text{ISG Eğitim}_{Yetersiz}, \text{Çal. dikkati}_{Yetersiz}) = 0{,}9 \quad (5.99)$$

Ray kalitesinin yeterli olduğu durum ile beraber, diğer nedenlerin farklı durumsal kombinasyonları sorgulamaları:

- Ray kalitesinin yeterli olduğu bir bölgede, eğitimle ilişkili konulara hâkim bir çalışan tarafından kullanılan vagonun üzerinden, çalışanın vagonla faaliyet sürdürürken anlık dikkatini kaybetmesi durumunda, çalışana zarar verecek şekilde malzeme düşmesi yaşanması ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanın rayla ilgili bir sorunun olmadığı bir bölgede, herhangi bir hata yapmamasına rağmen, dikkatini anlık kaybetmesi kaza yaşanması ihtimalini %10'a çıkarabilir. Çünkü ağır malzemelerle dolu vagonların hareketinin sağlanması dikkat seviyesinin kesintisiz yüksek tutulmasını gerektirir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.100'de verildiği gibidir.

$$P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{Hayır} | \text{Ray kalitesi}_{Yeterli}, \text{ISG Eğitim}_{Yeterli}, \text{Çal. dikkati}_{Yetersiz}) = 0{,}9$$
$$P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{Evet} | \text{Ray kalitesi}_{Yeterli}, \text{ISG Eğitim}_{Yeterli}, \text{Çal. dikkati}_{Yetersiz}) = 0{,}1 \quad (5.100)$$

- Ray kalitesinin yeterli olduğu bir bölgede, vagonla sürdürülen faaliyetler konusunda dikkat etmesi gereken hususlara dair gerekli eğitimlere sahip olmayan bir çalışan, dikkatli de olsa üzerine malzeme düşmesine sebep olacak bir aksilik yaşama ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Vagonun içine doldurulan malzemenin miktarı, yükleme şekli, vagonun itilmesi ve durdurulması ile ilgili kurallara hâkim olunmaması, ray kalitesinde bir sorun olmasa da ve çalışan dikkatli olsa da kaza yaşanması ihtimalini 0,3 değerine yükseltecektir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.101'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{\text{Hayır}} | \text{Ray kalitesi}_{\text{Yeterli}}, \text{ISG Eğitim}_{\text{Yetersiz}}, \text{Çal. dikkati}_{\text{Yeterli}}) &= 0{,}7 \\ P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{\text{Evet}} | \text{Ray kalitesi}_{\text{Yeterli}}, \text{ISG Eğitim}_{\text{Yetersiz}}, \text{Çal. dikkati}_{\text{Yeterli}}) &= 0{,}3 \end{aligned} \quad (5.101)$$

- Bir çalışanın vagonla, ray kalitesinin yeterli olduğu bir bölgede hem dikkatsiz hem de kuralları ihlal edecek şekilde faaliyet göstermesi durumunda, çalışanın üzerine malzeme düşme ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Ray kalitesinin yeterli olması, kazalar için koruyucu bir etkiye sahip olsa da çalışanın hem kuralların takip edilmesi hem de dikkat düzeyinin yüksek tutulması ilişkili sorunlar yaşaması kaza yaşaması ihtimalini yarı yarıya yükseltecektir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.102'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{\text{Hayır}} | \text{Ray kalitesi}_{\text{Yeterli}}, \text{ISG Eğitim}_{\text{Yetersiz}}, \text{Çal. dikkati}_{\text{Yetersiz}}) &= 0{,}5 \\ P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{\text{Evet}} | \text{Ray kalitesi}_{\text{Yeterli}}, \text{ISG Eğitim}_{\text{Yetersiz}}, \text{Çal. dikkati}_{\text{Yetersiz}}) &= 0{,}5 \end{aligned} \quad (5.102)$$

Ray kalitesinin yetersiz olduğu durum ile beraber, diğer nedenlerin farklı durumsal kombinasyon sorgulamaları:

- Vagonun üzerinde bulunduğu rayların teknik olarak vagonun sarsılmasına elverişli olduğu bir bölgede, hem iş güvenliği ile ilişkili hususlara uygun davranan hem de dikkat seviyesi yüksek olan bir çalışanın üzerine vagondan malzeme düşmesi olayının yaşanması için olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Ağır malzemelerle dolu vagonlarla, sorunsuz bir şekilde faaliyet sağlanması için, rayların uygun kalitede olması oldukça önemlidir. Çalışanın eğitim ve dikkat konusunda yetersizliği söz konusu olmasa bile, malzeme düşmesi ihtimalinin yarı yarıya durumundan da daha riskli kabul edilip, 0,6 olasılık değerini alması uygundur.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.103'te verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{\text{Hayır}} | \text{Ray kalitesi}_{\text{Yetersiz}}, \text{ISG Eğitim}_{\text{Yeterli}}, \text{Çal. dikkati}_{\text{Yeterli}}) &= 0{,}4 \\ P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{\text{Evet}} | \text{Ray aşınması}_{\text{Yetersiz}}, \text{ISG Eğitim}_{\text{Yeterli}}, \text{Çal. dikkati}_{\text{Yeterli}}) &= 0{,}6 \end{aligned} \quad (5.103)$$

- Ray kalitesinin yetersiz olduğu bir bölgede, eğitimle ilişkili konulara hâkim bir çalışan tarafından kullanılan vagonun üzerinden, çalışanın anlık dikkatini kaybetmesi durumunda, malzeme düşmesi yaşanması ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Teknik olarak vagonun sarsılmasına elverişli bir ortamda, vagonun güvenli kullanımı ile ilişkili kurallar konusunda hassas davranan, fakat faaliyet süresince dikkatini anlık kaybedebilen bir çalışanın, üzerine malzeme düşmesi ihtimali mutlaka yükselecektir. Çalışanın 0,7 olasılıkla, muhtemel bir şekilde üzerine malzeme düşmesi istenmeyen olayına maruz kalacağı beklenir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.104'te verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{Hayır} | \text{Ray aşınması}_{Yetersiz}, \text{ISG Eğitim}_{Yeterli}, \text{Çal. dikkati}_{Yetersiz}) = 0{,}3 \\ P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{Evet} | \text{Ray aşınması}_{Yetersiz}, \text{ISG Eğitim}_{Yeterli}, \text{Çal. dikkati}_{Yetersiz}) = 0{,}7 \end{aligned} \quad (5.104)$$

- Hem ray kalitesinin yetersiz olduğu bir alanda, hem de iş güvenliği ile ilişkili hususlara uygun davranmayan bir çalışanın yalnızca dikkatli olmasıyla, çalışanın üzerine malzeme düşmesi ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Teknik olarak vagonun sarsılmasına elverişli bir ortamda, vagonun güvenli kullanımı ile ilişkili kurallara da uymayan bir çalışan, dikkatli de olsa malzeme düşmesi ihtimalini yükseltmiş olacaktır. 0,8 olasılıkla, muhtemel seviyeyi de aşmış bir şekilde ilgili istenmeyen olayı yaşamasının beklenebileceği söylenebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.105'te verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{Hayır} | \text{Ray aşınması}_{Yetersiz}, \text{ISG Eğitim}_{Yetersiz}, \text{Çal. dikkati}_{Yeterli}) = 0{,}2 \\ P(\text{Çal. üz. malz. düşmesi}_{Evet} | \text{Ray aşınması}_{Yetersiz}, \text{ISG Eğitim}_{Yetersiz}, \text{Çal. dikkati}_{Yeterli}) = 0{,}8 \end{aligned} \quad (5.105)$$

Çalışanın üzerine malzeme düşmesi olayı olasılık değerleri Çizelge 5.37'deki gibidir:

Çizelge 5.37 : "Çalışanın üzerine malzeme düşmesi" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları							
Ray kalitesi	Yeterli				Yetersiz			
İSG Eğitim	Yeterli		Yetersiz		Yeterli		Yetersiz	
Çalışan dikkati	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Hayır	0,99	0,9	0,7	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1
Evet	0,01	0,1	0,3	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9

5.3.4.27 Ray kalitesi

Raylar zamanla aşınma yaşadıkça gerekli müdahalelerle bu durum düzeltilir. Yeraltı madeninde raylar için gerekli müdahaleyi yapabilme konusu İSG eğitim ve denetim başlıklarıyla ele alınır.

Tutarlılık kontrol:

- Eğitim ve denetim faktörlerinden hangisi ray kalitesi üzerinde daha etkin bir role sahiptir?

Cevap: Ray kalitesinin kontrol edilmesi ve gereğinin yapılması konusunda en etkili faktör İSG denetimdir. Denetimden sorumlu çalışanların ilgili rayların kontrolünü yeterli düzeyde sağlamaları halinde, ray kalitesinin yetersizleşmesine izin verilmeyeceği düşünülür.

En iyi senaryo sorgulaması:

- Raylar konusunda gerekli müdahalelerin yapılmasına dair bilgilerin verildiği eğitimlerin ve denetimlerin yeterli düzeyde sağlanması durumunda, ray kalitesinin yetersizliği söz konusu olmakta mıdır?

Cevap: İnsan performansına bağlı bir faaliyet olduğu için %99 olasılıkla ray kalitesinde sorun olmayacağı ifade edilebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.106'da verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(Ray\ kalitesi_{Yeterli} |\ ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) &= 0{,}99 \\ P(Ray\ kalitesi_{Yetersiz} |\ ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) &= 0{,}01 \end{aligned} \quad (5.106)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Raylar konusunda gerekli müdahalelerin yapılmasına dair bilgilerin İSG eğitimlerinde ele alınmaması ya da çalışanın bu bilgilere yeterli düzeyde hâkim olmaması durumunda, madende denetimden sorumlu çalışanların da ilişkili ihmallerinin de eşlik etmesi halinde rayların aşınmış bir şekilde faaliyet göstermesi olasılığı için ne söylenebilir?

Cevap: Ray kontrollerinin ihmaller zincirine maruz kalması durumunda, muhtemel olarak 0,7 olasılıkla ray aşınmaları ile karşılaşılacaktır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.107'de verildiği gibidir:

$$P(Ray\ kalitesi_{Yeterli} |\ ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0{,}3$$
$$P(Ray\ kalitesi_{Yetersiz} |\ ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0{,}7 \quad (5.107)$$

Diğer durum sorgulamaları:

- Ray kontrollerinin yapılmasına dair gerekli eğitim konularına hakimiyeti olan çalışanlarca sürdürülen faaliyetler süresince, ilgili konu için denetim yetersizliği söz konusu ise, ray kalitesinin yetersizleşmesi konusunda ne söylenebilir?

Cevap: Denetim eksikliğinin yaşanması halinde, ray aşınmaları ile %20 oranında karşılaşılabileceği düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.108'de verildiği gibidir.

$$P(Ray\ kalitesi_{Yeterli} |\ ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0{,}8$$
$$P(Ray\ kalitesi_{Yetersiz} |\ ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Denetim_{Yetersiz}) = 0{,}2 \quad (5.108)$$

- Ray kontrollerinin yapılmasına dair gerekli eğitim hakimiyeti olmayan çalışanlarca sürdürülen faaliyetlere, yeterli düzeyde denetim sürecinin dahil edilmesi durumunda, ray kalitesinin yetersizliği ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Ray kalitesinin yeterliliği üzerine, uygun eğitim bilgisine sahip çalışanların varlığına rağmen, gerekli düzeyde denetim yapılması sağlanırsa, vagonların aşınmış raylar üzerinde faaliyet göstermesi ihtimalinin %10'a düşeceği beklenir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.109'da verildiği gibidir.

$$P(Ray\ kalitesi_{Yeterli} |\ ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) = 0{,}9$$
$$P(Ray\ kalitesi_{Yetersiz} |\ ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Denetim_{Yeterli}) = 0{,}1 \quad (5.109)$$

Ray kalitesinin yeterli ya da yetersiz olma durumunu nedenlerine bağlı olarak gösterir şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.38'deki gibidir:

Çizelge 5.38 : "Ray kalitesi" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Eğitim	Yeterli		Yetersiz	
Denetim	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Yeterli	0,99	0,8	0,9	0,3
Yetersiz	0,01	0,2	0,1	0,7

5.3.4.28 Kafes boşluğuna düşme

Vagonun kuyuya düşmesi, vagonu kafese iten vagoncunun karakol kapısı açıkken vagonu dikkatsizce itmesi ya da İSG ile ilişkili kurallara uymadığı için vagonun kontrolünü sağlayamaması sebepli meydana gelmektedir.

- 'Vagonun düşmesi için kafes kapısının açık olması gerekiyorsa, kapının kapalı olması kafesin kuyuya düşmesine imkân vermeyecektir' ifadesi doğru mudur?

Cevap: Kafes kapısı kapalı ise vagon kuyuya düşemez.

Çıkarım: Dolayısıyla ebeveyn durum kombinasyonları için karakol kapısının kapalı olduğu tüm şartlı olasılıklarda, vagonun kuyuya düşme ihtimali 0 kabul edilir. İlişkili olasılık değerleri denklem 5.110'da verildiği gibidir.

$$
\begin{aligned}
&P\left(Kafes\ boşl.düşm._{Hayır} \mid Kar.kapısı_{Kapalı}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.dikkati_{Yeterli}\right) = 1\\
&P\left(Kafes\ boşl.düşm._{Evet} \mid Kar.kapısı_{Kapalı}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.dikkati_{Yeterli}\right) = 0\\
&\left(PKafes\ boşl.düşm._{Hayır} \mid Kar.kapısı_{Kapalı}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.dikkati_{Yetersiz}\right) = 1\\
&P\left(Kafes\ boşl.düşm._{Evet} \mid Kar.kapısı_{Kapalı}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.dikkati_{Yetersiz}\right) = 0\\
&P\left(Kafes\ boşl.düşm._{Hayır} \mid Kar.kapısı_{Kapalı}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.dikkati_{Yeterli}\right) = 1\\
&P\left(Kafes\ boşl.düşm._{Evet} \mid Kar.kapısı_{Kapalı}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.dikkati_{Yeterli}\right) = 0\\
&P\left(Kafes\ boşl.düşm._{Hayır} \mid Kar.kapısı_{Kapalı}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.dikkati_{Yetersiz}\right) = 1\\
&P\left(Kafes\ boşl.düşm._{Evet} \mid Kar.kapısı_{Kapalı}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.dikkati_{Yetersiz}\right) = 0
\end{aligned}
\tag{5.110}
$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Kafesin karakol kapısı açıkken, İSG eğitim kuralları gereği dikkat etmesi gereken kurallara hâkim olmayan ve dikkatsiz olan bir çalışanın hatalı bir davranışta bulunması ile kafes boşluğuna düşme kazasının yaşanması olasılığı kaçtır?

Cevap: En kötü şartlar altında kazanın olması için 0,1 olasılık değerinin verilmesi uygun görülebilir. Bu olay, yeraltı madeni için kolaylıkla yaşanacağı düşünülen bir kaza değildir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.111'de verildiği gibidir.

$$
\begin{aligned}
&P\left(Kafes\ boşl.düşm._{Hayır} \mid Kar.kapısı_{Açık}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.dikkati_{Yetersiz}\right) = 0{,}9\\
&P\left(Kafes\ boşl.düşm._{Evet} \mid Kar.kapısı_{Açık}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.dikkati_{Yetersiz}\right) = 0{,}1
\end{aligned}
\tag{5.111}
$$

Tutarlılık kontrolü:

Kafes boşluğuna düşme kazalarının yaşanmasında en önemli faktörün karakol kapısının açık olması olduğu bilinmektedir. Karakol kapısından sonra, eğitim faktörü mü dikkat faktörü mü, bu kazaların yaşanmasında daha etkilidir?

Cevap: Eğitim faktörü, dikkat faktöründen daha etkilidir.

Çıkarım: Kafes boşluğuna düşme olaylarının yaşanması konusunda, pek çok olayda olduğu gibi eğitim faktörü, dikkat unsurundan daha etkili bir faktördür.

Açık-karakol kapısı durumu ile beraber, diğer nedenlerin farklı durumsal kombinasyonları sorgulamaları:

- İlgili eğitimi almış ve anlık dikkat sorunu olmayan bir vagoncunun, karakol kapısının açık olduğu durumlarda vagonun kuyudan düşmesine neden olma ihtimali nasıl değerlendirilir?

Cevap: Eğitim ve dikkat unsuru, kapı açık olsa da oldukça koruyucu bir önlem oluşturacaktır. Fakat kapının açık olması kaza riski için %1 oranında bir riskin var olduğu düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.112'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P\left(Kafes\ boşl.\ düşm._{Hayır} \mid Kar.kapısı_{Açık}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.dikkati_{Yeterli}\right) &= 0{,}9 \\ P\left(Kafes\ boşl.\ düşm._{Evet} \mid Kar.kapısı_{Açık}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.dikkati_{Yeterli}\right) &= 0{,}01 \end{aligned} \quad (5.112)$$

- Karakol kapısı açıkken vagonu nasıl kontrol etmesi gerektiğini bilen bir vagoncunun anlık dikkatsizlikle vagonun kuyudan düşmesine sebep olma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Belirtilen şartlar, bir önceki durum ile aynı ihtimalleri sunacaktır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.113'te verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P\left(Kafes\ boşl.\ düşm._{Hayır} \mid Kar.kapısı_{Açık}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.dikkati_{Yetersiz}\right) &= 0{,}99 \\ P\left(Kafes\ boşl.\ düşm._{Evet} \mid Kar.kapısı_{Açık}, ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.dikkati_{Yetersiz}\right) &= 0{,}01 \end{aligned} \quad (5.113)$$

- Yeterli eğitimi almamış fakat işini dikkatle sürdüren bir vagoncu için, karakol kapısı açıkken kafes boşluğuna düşme ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Kaza olasılığının %5'e yükseleceği varsayılabilir. Çünkü bu tür bir kazanın belirtilen şartlar altında gerçekleşmesinin hala zorlu olduğunu düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.114'te verildiği gibidir:

$$P\left(Kafes\ boşl.düşm._{Hayır} \mid Kar.kapısı_{Açık}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.dikkati_{Yeterli}\right) = 0{,}95$$
$$P\left(Kafes\ boşl.düşm._{Evet} \mid Kar.kapısı_{Açık}, ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.dikkati_{Yeterli}\right) = 0{,}05 \quad (5.114)$$

Kafes boşluğuna düşme olayının şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.39'daki gibi belirtilebilir:

Çizelge 5.39 : "Kafes boşluğuna düşme" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları							
Karakol kapısı	Kapalı				Açık			
İSG Eğitim	Yeterli		Yetersiz		Yeterli		Yetersiz	
Çalışan dikkati	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Hayır	1	1	1	1	0,99	0,99	0,95	0,9
Evet	0	0	0	0	0,01	0,01	0,05	0,1

5.3.4.29 Karakol kapısı

Karakol kapısı kullanımının, kafese vagon yükleme ya da kafesten vagon alma gibi tamamen kafes kullanım hareketlerine paralel olarak uygulanan, çalışanın eğitim ve dikkat unsuruna bağlı olan sıkı kuralları vardır.

En iyi senaryo sorgulaması:

- Kurallara uyma bilincinin İSG eğitimleri ile sağlandığı düşünüldüğünde, çalışanın herhangi bir dikkat sorunu da bulunmadığı takdirde karakol kapısının beklenmeyen zamanlarda açık bırakılma ihtimali var mıdır?

Cevap: İnsan performansına bağlı olduğu için en iyi senaryo altında gerçekleşmeme ihtimali için yalnızca 0,001 olasılık değerini vermek uygun olacaktır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.115'te verildiği gibidir.

$$P\left(Karakol\ kapısı._{Kapalı} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.dikkati_{Yeterli}\right) = 0{,}999$$
$$P\left(Karakol\ kapısı._{Açık} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.dikkati_{Yeterli}\right) = 0{,}001 \quad (5.115)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Çalışanın hem ilişkili kurallar konusunda eğitim yetersizliği olmasının hem de dikkatsiz olması karakol kapısının beklenmeyen zamanlarda açık bırakılma ihtimalini kaça yükselteceği düşünülür?

Cevap: Belirtilen durum için, karakol kapısının beklenmeyen zamanlarda açık kalma ihtimalinin %50 olacağı düşünülür.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.116'da verildiği gibidir.

$$P\left(Karakol\ kapısı._{Kapalı} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.dikkati_{Yetersiz}\right) = 0{,}5$$
$$P\left(Karakol\ kapısı._{Açık} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.dikkati_{Yetersiz}\right) = 0{,}5 \quad (5.116)$$

Diğer durum sorgulamaları:

- İlişkili kurallar konusunda eğitim eksiğinin olmadığı ve eğitim kurallarına aykırı davranmadığının bilindiği bir çalışanın dikkatsizliği sebepli karakol kapısını beklenmeyen zamanlarda açık bırakma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Eğitim unsurunun diğer bir deyişle, kurallara uyma bilincinin dikkat unsurundan iki kat daha fazla koruyucu olduğu düşünülebilir ve karakol kapısının belirtilen şartlarda açık kalma ihtimalinin 0,1 olması kabul edilebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.117'de verildiği gibidir.

$$P\left(Karakol\ kapısı._{Kapalı} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.dikkati_{Yetersiz}\right) = 0{,}9$$
$$P\left(Karakol\ kapısı._{Açık} \mid ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çal.dikkati_{Yetersiz}\right) = 0{,}1 \quad (5.117)$$

- Çalışanın dikkatli davranmasına rağmen, ilişkili kurallar konusunda eğitim yetersizliğinin olması durumunda, karakol kapısını beklenmeyen zamanlarda açık bırakma ihtimali için ne düşünülebilir?

Cevap: Çalışanın eğitimsiz olmasına rağmen dikkatli olması onu bir önceki senaryodan daha koruyucu bir duruma sokmayacaktır. İSG eğitimleriyle sağlanan koruyucu kuralları bilmiyor olması kazaya her zaman daha elverişli bir durum oluşmasına neden olacaktır. 0,2 olasılıkla karakol kapısının açık kalacağı düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.118'de verildiği gibidir.

$$P\left(Karakol\ kapısı._{Kapalı} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.dikkati_{Yeterli}\right) = 0{,}8$$
$$P\left(Karakol\ kapısı._{Açık} \mid ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çal.dikkati_{Yeterli}\right) = 0{,}2 \quad (5.118)$$

Karakol kapısının nedenlerine bağlı şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.40'daki gibi belirtilebilir:

Çizelge 5.40 : "Karakol kapısı" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
İSG Eğitim	Yeterli		Yetersiz	
İSG Denetim	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Kapalı	0,999	0,9	0,8	0,5
Açık	0,001	0,1	0,2	0,5

5.3.4.30 Kafes düşmesi

Yeraltı madenlerinde yeryüzü ve yeraltı arasında insan ve malzeme taşımak için kullanılan kafes sistemleri çalışanları tehdit eden risk unsurları içermektedir. Meydana gelmesi yeraltı madenlerinde olası kazalardan olan 'kafes düşmesi', ölümcül bir kaza olarak nitelendirilebilir. Kafes düşmesinin halat kaynaklı, mekanik arıza kaynaklı ya da operatör kaynaklı meydana gelebileceği öngörülmüştür.

- Halat kaynaklı yaşanan kafes düşmesi, mekanik arıza kaynaklı yaşanan kafes düşmesi ve operatör kaynaklı kafes düşmesi olayları arasındaki ilişki nedir?

Cevap: Her biri kafes düşmesinin bir çeşidi olarak yorumlanabilir.

- Herhangi birinin gerçekleşmesi kafesin düşmesi anlamında ele alınabilecektir. Bu unsurların bir arada gerçekleşme ihtimali var mıdır?

Cevap: Kafesin düşmesi ile ilişkili belirtilen unsurlarına bir arada gerçekleşme olasılığı imkânsız kabul edilmiştir.

Çıkarım: Olaylar, kafes düşmesi olayına hata ağacında gösterildiği gibi 'veya mantık kapısı' ile bağlı olduğu için aşağıdaki olasılık çıkarımı durumun ifadesi için uygundur.

İlişkili olasılık değerleri denklem 5.119'da verildiği gibidir.

$$
\begin{aligned}
&P\left(Kafes\ düşmesi_{Evet} \middle| Halat\ kayn._{Hayır}\ , Mekanik\ kayn._{Hayır}\ , Operatör\ kayn._{Hayır}\right) = 0\\
&P\left(Kafes\ düşmesi_{Evet} \middle| Halat\ kayn._{Hayır}\ , Mekanik\ kayn._{Hayır}\ , Operatör\ kayn._{Evet}\right) = 1\\
&P\left(Kafes\ düşmesi_{Evet} \middle| Halat\ kayn._{Hayır}\ , Mekanik\ kayn._{Evet}\ , Operatör\ kayn._{Hayır}\right) = 1\\
&P\left(Kafes\ düşmesi_{Evet} \middle| Halat\ kayn._{Evet}\ , Mekanik\ kayn._{Hayır}\ , Operatör\ kayn._{Hayır}\right) = 1\\
&P\left(Kafes\ düşmesi_{Evet} \middle| Halat\ kayn._{Evet}\ , Mekanik\ kayn._{Evet}\ , Operatör\ kayn._{Hayır}\right) = 0\\
&P\left(Kafes\ düşmesi_{Evet} \middle| Halat\ kayn._{Evet}\ , Mekanik\ kayn._{Hayır}\ , Operatör\ kayn._{Evet}\right) = 0\\
&P\left(Kafes\ düşmesi_{Evet} \middle| Halat\ kayn._{Hayır}\ , Mekanik\ kayn._{Evet}\ , Operatör\ kayn._{Evet}\right) = 0\\
&P\left(Kafes\ düşmesi_{Evet} \middle| Halat\ kayn._{Evet}\ , Mekanik\ kayn._{Evet}\ , Operatör\ kayn._{Evet}\right) = 0
\end{aligned}
\tag{5.119}
$$

Kafes düşmesi olayının şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.41'deki gibi belirtilebilir:

Çizelge 5.41 : "Kafes düşmesi" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları							
Halat kaynaklı	Hayır				Evet			
Mekanik arıza	Hayır		Evet		Hayır		Evet	
Operatör kaynaklı	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Evet
Hayır	1	0	0	1	0	1	1	1
Evet	0	1	1	0	1	0	0	0

5.3.4.31 Halat kaynaklı düşüş

Halat kaynaklı düşme, halat kopması olayının yaşanmasına ve paraşüt sisteminin devreye girmeyerek kafesin düşmesine denmektedir. Halata ve paraşüt sistemine bağlı gerçekleşen bu olaya dair olasılık sorgulamaları aşağıdaki gibidir:

Genel durum sorgulaması:

- Kafes düşmesinin yaşanmasının halat ve paraşüt sistemi olayları ile arasındaki ilişki nasıl açıklanabilir?

Cevap: Halat kopması ve paraşüt sisteminin devreye girmemesi olaylarının ancak bir arada meydana gelmesi söz konusu olursa, kafes düşmesi istenmeyen olayı mutlaka yaşanacaktır.

Çıkarım: Halat kopması ve paraşüt sisteminin devreye girmemesi olayları birbirine "ve kapısı" ile bağlı olduğu için şartlı olasılık değerleri doğrudan Çizelge 5.42'de gösterilmiştir:

Çizelge 5.42 : "Halat kaynaklı düşüş" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Halat kopması	Hayır		Evet	
Paraşüt sistemi	Çalışıyor	Çalışmıyor	Çalışıyor	Çalışmıyor
Hayır	1	1	1	0
Evet	0	0	0	1

5.3.4.32 Halat kopması

Halat kopması olayının nedeni doğrudan bakım faaliyetinin etkinliği ile ilişkilendirilmiştir.

En iyi senaryo sorgulaması:

- Halat kopması olayında bakımın etkisi, olasılıksal olarak nasıl değerlendirilebilir?

Cevap: Bakımları düzenli ve yeterli düzeyde sağlanan bir kafes halatının kopma ihtimali için 0,001 olasılığını vermek mümkündür.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.120'de verildiği gibidir.

$$P\left(Halat\ kopması_{Hayır} \middle| Bakım_{Yeterli}\right) = 0{,}999$$
$$P\left(Halat\ kopması_{Evet} \middle| Bakım_{Yeterli}\right) = 0{,}001 \quad (5.120)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- İlgili bakımlarının yetersiz sağlanması durumunda halatın kopma olasılığı için ne söylenebilir?

Cevap: Bakımları düzenli ve yeterli düzeyde sağlanmayan bir kafes halatının kopma olayı için, hiç yaşanmamasına rağmen yaşanma ihtimali 0,5 olarak kabul edilebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.121'de verildiği gibidir.

$$P\left(Halat\ kopması_{Hayır} \middle| Bakım_{Yetersiz}\right) = 0{,}5$$
$$P\left(Halat\ kopması_{Evet} \middle| Bakım_{Yetersiz}\right) = 0{,}5 \quad (5.121)$$

Halat kopması olayının şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.43'te belirtilmiştir:

Çizelge 5.43 : "Halat kopması" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları	
Bakım	Yeterli	Yetersiz
Hayır	0,999	0,5
Evet	0,001	0,5

5.3.4.33 Paraşüt sistemi

Paraşüt sisteminin performansı doğrudan bakıma bağlı olarak görülmektedir. İlişkili şartlı olasılık değerleri için sorgulama süreci aşağıdaki gibidir:

En iyi senaryo sorgulaması:

- Gerektiği bir durumda paraşüt sisteminin devreye girmesi konusunda bakımın etkisi, olasılıksal olarak nasıl değerlendirilebilir?

Cevap: Bakımları düzenli ve yeterli düzeyde sağlanan bir kafes paraşüt sisteminin devreye girme olasılığının 0,999 olarak verilmesi uygundur. Vinç sistemlerinin önemli eklentilerinden olan paraşüt sisteminin en iyi senaryo altında dahi bilinmeyen bir nedenle olumsuzluk yaşaması ihtimali çok az da bir değer olsa da hesaplamaya katılmalıdır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.122'de verildiği gibidir.

$$P(Paraşüt\ sist_{Çalışıyor}|Bakım_{Yeterli}) = 0{,}999$$
$$P(Paraşüt\ sist_{Çalışmıyor}|Bakım_{Yeterli}) = 0{,}001 \quad (5.122)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Bakımları yeterli ve düzenli şekilde sağlanmamış olan bir kafes paraşüt sisteminin, gerektiği durumlarda devreye girmeme ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Bakımları düzenli ve yeterli düzeyde sağlanmayan bir kafes paraşüt sisteminin, kritik bir anda devreye girmeme ihtimalinin 0,5 olacağı düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.123'te verildiği gibidir.

$$P(Paraşüt\ sist_{Çalışıyor}|Bakım_{Yetersiz}) = 0{,}5$$
$$P(Paraşüt\ sist_{Çalışmıyor}|Bakım_{Yetersiz}) = 0{,}5 \quad (5.123)$$

Paraşüt sisteminin durumunun nedenine bağlı şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.44'de belirtilmiştir:

Çizelge 5.44 : "Paraşüt sistemi" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları	
Bakım	Yeterli	Yetersiz
Çalışıyor	0,999	0,5
Çalışmıyor	0,001	0,5

5.3.4.34 Bakım

Yeraltı madenlerinde kullanılan mekanize sistemlerin, çalışanlara zarar verecek şekilde bir kazaya sebebiyet vermesinin doğrudan etkenlerinden biri olan bakım unsurunun etkinliği, bakımın gerektiği gibi yapılmasını belirleyen İSG eğitim değişkeni ile, bakımın sıklığını belirleyen İSG planlama değişkenidir.

En iyi senaryo sorgulaması:

- İSG eğitim ve İSG planlama unsurlarının yeterli düzeyde sağlanması durumunda, bir mekanize sisteme uygulanan bakımın etkinliği konusunda olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Çalışan performansına bağlı İSG eğitim ve yönetim yaklaşımına bağlı olan planlama unsurlarının yeterli düzeyde sağlanması durumunda, bakımın 0,99 oranında etkin olacağı öngörülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.124'te verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(Bakım_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Planlama_{Yeterli}) &= 0{,}99 \\ P(Bakım_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Planlama_{Yeterli}) &= 0{,}01 \end{aligned} \tag{5.124}$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- İSG eğitim ve İSG planlama unsurlarının yeterli düzeyde sağlanmaması durumunda, bir mekanize sisteme uygulanan bakımın etkinliği konusunda olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Bakımın kalitesini belirleyen İSG eğitim unsuru ve bakımın uygun sıklıkta yapılmasını belirleyen İSG planlama unsurlarının yetersiz olması durumunda, bakımın etkinliğinin ancak 0,5 oranında sağlanabileceği öngörülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.125'te verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(Bakım_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Planlama_{Yetersiz}) &= 0{,}5 \\ P(Bakım_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Planlama_{Yetersiz}) &= 0{,}5 \end{aligned} \tag{5.125}$$

Diğer durum sorgulamaları:

- Bakım sıklıklarının doğru planlanmasına rağmen, sorumlu çalışan tarafından İSG eğitimiyle ilişkili unsurlara dikkat edilmemesi halinde bakımın etkinliği için olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Bakımın kalitesini belirleyen İSG eğitim unsuru ve İSG planlaması ile ilişkili unsurlarda herhangi birinin yetersiz olması durumunda bakımın etkinliğinin 0,8'e düşeceği varsayılır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.126'da verildiği gibidir.

$$P(Bakım_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Planlama_{Yetersiz}) = 0{,}8$$
$$P(Bakım_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yeterli}, ISG\ Planlama_{Yetersiz}) = 0{,}2$$
$$P(Bakım_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Planlama_{Yeterli}) = 0{,}8 \quad (5.126)$$
$$P(Bakım_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, ISG\ Planlama_{Yeterli}) = 0{,}2$$

Bakım etkinliğinin nedenlerine bağlı olasılık değerleri Çizelge 5.45'te belirtilmiştir:

Çizelge 5.45 : "Bakım" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
İSG Eğitim	Yeterli		Yetersiz	
İSG Planlama	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Yeterli	0,99	0,8	0,8	0,5
Yetersiz	0,01	0,2	0,2	0,5

5.3.4.35 Mekanik arıza kaynaklı düşüş

Kafesin mekanik bir arıza sebepli düşüşe geçmesi ve otomatik fren sisteminin de devreye girmemesi ile meydana gelen düşme olayına, mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi denmektedir. Olayın olasılık sorgulamaları aşağıdaki gibidir:

Genel durum sorgulaması:

- Kafes düşmesinin yaşanmasındaki mekanik arıza ve otomatik fren sistemi arasındaki ilişki nasıl açıklanabilir?

Cevap: Mekanik arıza ve otomatik fren sisteminin devreye girmemesi olaylarının bir arada meydana gelmesi, kafes düşmesi kazasının mutlaka yaşanması anlamına gelmektedir.

Çıkarım: Mekanik arıza kaynaklı bir düşüşe sebep olabilecek mekanik bir arıza olması ve otomatik fren sisteminin devreye girmemesi olayları birbirine "ve mantık kapısı" ile bağlı olduğu için şartlı olasılık değerleri doğrudan Çizelge 5.46'da verildiği gibidir:

Çizelge 5.46 : "Mekanik arıza kaynaklı düşüş" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Otomatik fren sistemi	Çalışıyor		Çalışmıyor	
Mekanik arıza	Hayır	Evet	Hayır	Evet
Hayır	1	1	1	0
Evet	0	0	0	1

5.3.4.36 Mekanik arıza

Mekanik arıza olayının nedeni doğrudan bakım faaliyeti ile ilişkilendirilmiştir.

Genel durum sorgulaması:

- Kafesin düşmesine neden olabilecek bir mekanik arıza yaşanmasında bakımın etkisi, olasılıksal olarak nasıl değerlendirilebilir?

Cevap: Yeraltı madeni kafes nakliyatının sağlandığı vinç sisteminde, kafesin düşmesine neden olacak bir mekanik bir arıza olma ihtimalinin, bakım koşulları yeterli düzeyde sağlandıysa yeterli korumayı yapacağını, fakat yeterli düzeyde sağlanmadıysa sistemi önemli bir riske sokacağı düşünülebilir. Mekanik arızasının bakım ile arasındaki ilişki, halat kopması ile bakım arasındaki ilişkiye benzetilebilir.

Çıkarım: Kafes vinç sisteminin mekanik arıza yapmasının nedenine bağlı, şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.47'deki gibi belirtilebilir:

Çizelge 5.47 : "Mekanik arıza" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları	
Bakım	Yeterli	Yetersiz
Hayır	0,999	0,5
Evet	0,001	0,5

5.3.4.37 Otomatik fren sistemi

Otomatik fren sisteminin çalışıp çalışmamasına dair ebeveyn değişkeni doğrudan bakım değişkeni ile belirtilmiştir.

Genel durum sorgulaması:

- Otomatik fren sisteminin gerektiği durumlarda devreye girmesinin, bakımın etkinliği ile olasılıksal ilişkisi için ne söylenebilir?

Cevap: Yeraltı madeni kafesi hızının, beklenenden fazla bir düzeyde artması durumunda devreye girmesi beklenen otomatik fren sisteminin devreye girmesi ve girmemesi durumunun bakım değişkeni ile arasındaki ilişkinin, halat kopması ve mekanik arıza değişkenin bakım ile arasındaki ilişki ile aynı olduğu söylenebilir.

Çıkarım: Otomatik fren sisteminin devreye girmesi ve girmemesi durumunun, bakımın etkinliği ile olan ilişkisini gösterir şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.48'deki gibi belirtilebilir:

Çizelge 5.48 : "Otomatik fren sistemi" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları	
Bakım	Yeterli	Yetersiz
Çalışıyor	0,999	0,5
Çalışmıyor	0,001	0,5

5.3.4.38 Operatör kaynaklı düşüş

Kafes düşmesinin nedenlerinden biri olarak görünen operatör kaynaklı düşmenin ebeveyn değişkenleri, kumanda hatası ve otomatik fren sistemi olarak görülmektedir. Olayların olasılıksal ilişkilerini ortaya çıkaran sorgulama aşağıdaki gibidir:

Genel durum sorgulaması:

- Operatör kaynaklı kafes düşmesi kazasının, operatör kumanda hatası ve otomatik fren sistemi arasındaki ilişki nasıl açıklanabilir?

Cevap: Operatörün aşağıya doğru hareket eden kafese durma komutu vermemesi ile birlikte, emniyet noktasının da altına doğru giden kafesin durmasını sağlaması gereken otomatik fren sisteminin devreye girmemesi olaylarının bir arada meydana gelmesi, operatör kaynaklı kafes düşmesi kazasının yaşanması anlamına gelmektedir.

Çıkarım: Operatör kumanda hatası ve otomatik fren sisteminin devreye girmemesi olaylarının birbirine "ve mantık kapısı" ile bağlı olması sebebiyle, operatör kaynaklı kafes düşmesi olayına dair şartlı olasılık değerleri doğrudan Çizelge 5.49'da verildiği gibi oluşturulur:

Çizelge 5.49 : "Operatör kaynaklı düşüş" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Operatör kumanda hatası	Hayır		Evet	
Otomatik fren sistemi	Çalışıyor	Çalışmıyor	Çalışıyor	Çalışmıyor
Hayır	1	1	1	0
Evet	0	0	0	1

5.3.4.39 Operatör kumanda hatası

Operatör kaynaklı kafes düşmesinin ana nedeni olan operatör kumanda hatasının gerçekleşmesindeki nedenler, operatörün aldığı İSG eğitimi ve sahip olduğu dikkat düzeyi olarak belirtilmiştir.

En iyi senaryo sorgulaması:

- Yeraltı madeni vinç operatörünün, vinç yönetimi kapsamında dikkat etmesi gereken kuralların öğretildiği İSG eğitimlerini yeterli düzeyde almış olması ve vinç kumanda faaliyetlerini dikkatle gerçekleştirmesi durumunda kumanda hatası yapma olasılığı için ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanın yeterli düzeyde eğitim alması ve yeterli düzeyde bir dikkatle çalışması durumunda, kumanda hatası yapması ihtimalinin olmayacağını, fakat insan performanslarına bağlı olarak %1 oranında bir hata payı bırakılması gerektiği düşünüldüğü için kumanda hatası yapması olasılığı için 0,01 değeri atanabilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.127'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P\left(Operatör\ kumanda\ hatası_{Hayır} \middle| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çalışan\ dikkati_{Yeterli}\right) &= 0{,}99 \\ P\left(Operatör\ kumanda\ hatası_{Evet} \middle| ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çalışan\ dikkati_{Yeterli}\right) &= 0{,}01 \end{aligned} \tag{5.127}$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Vinç yönetimi kapsamında dikkat etmesi gereken kuralların İSG eğitimleri ile yeterli düzeyde kazanımını yapmamış bir çalışanın, yeterli düzeyde dikkati de sağlayamaması durumunda, kumanda hatası olasılığı için ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanın yeterli düzeyde eğitim almamış olması ve kumanda faaliyeti sırasında dikkatsiz olması ile kafesin düşmesine sebebiyet verebilecek bir kumanda hatası yapma olasılığının 0,5 gibi yüksek bir değer olması düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.128'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P\left(Operatör\ kumanda\ hatası_{Hayır} \middle| ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çalışan\ dikkati_{Yetersiz}\right) &= 0{,}5 \\ P\left(Operatör\ kumanda\ hatası_{Evet} \middle| ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çalışan\ dikkati_{Yetersiz}\right) &= 0{,}5 \end{aligned} \tag{5.128}$$

Diğer durum sorgulamaları:

- Vinç yönetimi kapsamında dikkat etmesi gereken kurallarına İSG eğitimleri ile yeterli düzeyde hakimiyet kazanmış bir çalışanın, vinç kumanda faaliyetini yönetirken yeterli düzeyde dikkat sağlayamaması durumundaki kumanda hatası olasılığı için ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanın yeterli düzeyde eğitim almış olması halinde, dikkatini kaybetse de bir kumanda hatası yapma olasılığı için 0,1 değerini düşünmek uygundur.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.129'da verildiği gibidir.

$$P(Operatör\ kumanda\ hatası_{Hayır} | ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çalışan\ dikkati_{Yetersiz}) = 0{,}9$$
$$P(Operatör\ kumanda\ hatası_{Evet} | ISG\ Eğitim_{Yeterli}, Çalışan\ dikkati_{Yetersiz}) = 0{,}1 \quad (5.129)$$

- Vinç yönetimi kapsamında İSG eğitimleri ile verilen kurallara hâkim olmayan bir çalışanın, vinç yönetimini dikkatle sürdürmesi durumunda, vinç kumanda faaliyetini sırasında kafesin durdurulması ile ilgili kumanda hatası yapma olasılığı için ne söylenebilir?

Cevap: Çalışanın yeterli düzeyde eğitim almamış olması, dikkat seviyesinden bağımsız olarak (yeterli düzeyde olsa dahi), kafesin düşmesine sebebiyet verebilecek bir kumanda hatası yapma olasılığını 0,15 değerine taşıyabileceği düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.130'da verildiği gibidir.

$$P(Operatör\ kumanda\ hatası_{Hayır} | ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çalışan\ dikkati_{Yeterli}) = 0{,}85$$
$$P(Operatör\ kumanda\ hatası_{Evet} | ISG\ Eğitim_{Yetersiz}, Çalışan\ dikkati_{Yeterli}) = 0{,}15 \quad (5.130)$$

Operatör kumanda hatasının nedenlerine bağlı, şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.50'de belirtilebilmiştir:

Çizelge 5.50 : "Operatör kumanda hatası" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
İSG Eğitim	Yeterli		Yetersiz	
Çalışan dikkati	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Hayır	0,99	0,9	0,85	0,5
Evet	0,01	0,1	0,15	0,5

5.3.4.40 Kafesin tavana çarpması

Kafesle ilgili bir diğer olası kaza ise kafesin tavana çarpma kazasıdır. Gerçekleşmesi, motor kaynaklı bir çarpma olmasına ya da operatör kaynaklı bir çarpma olmasına bağlıdır. Kafesin tavana çarpması ile üretimin durması, önemli maddi kayıpların olması ve yükleme ile kafes nakliyatı çalışanlarının zarar görmesi söz konusudur.

Genel durum sorgulaması:

- Motor kaynaklı çarpma ve operatör kaynaklı çarpmanın, kafesin tavana çarpması olayı ile arasındaki ilişki nasıl açıklanabilir?

Cevap: Her biri kafesin tavana çarpması ile ilişkili kaza nedenleridir. Nedenlerin bir arada gerçekleşme olasılığı imkânsız ve olayların birbiri ile ilişkisi bağımsız olarak kabul edilir.

Çıkarım: Her iki kafes çarpması olayı hata ağacında da gösterildiği gibi, kafes düşmesi olayına 'veya mantık kapısı' ile bağlıdır.

İlişkili olasılık değerleri denklem 5.131'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P\left(Kafes\ çarpması_{Evet} | Motor\ kaynaklı\ çarpma._{Hayır}, Operatör\ kayn.çarpma_{Hayır}\right) &= 0 \\ P\left(Kafes\ çarpması_{Evet} | Motor\ kaynaklı\ çarpma._{Hayır}, Operatör\ kayn.çarpma_{Evet}\right) &= 1 \\ P\left(Kafes\ çarpması_{Evet} | Motor\ kaynaklı\ çarpma._{Evet}, Operatör\ kayn.çarpma_{Hayır}\right) &= 1 \\ P\left(Kafes\ çarpması_{Evet} | Motor\ kaynaklı\ çarpma._{Evet}, Operatör\ kayn.çarpma_{Evet}\right) &= 0 \end{aligned} \quad (5.131)$$

Olayın şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.51'de verildiği gibidir:

Çizelge 5.51 : "Kafesin tavana çarpması" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Motor kay. çarpma	Hayır		Evet	
Op. kay. çarpma	Hayır	Evet	Hayır	Evet
Hayır	1	0	0	1
Evet	0	1	1	0

5.3.4.41 Motor kaynaklı çarpma

Kafesin motor kaynaklı tavana çarpması olayının nedenleri, yaşanan mekanik arıza ve tavan durdurma mekanizmasının devreye girmemesi olarak belirtilmiştir. Olayın nedenlerine bağlı olasılık sorgulamaları aşağıdaki gibidir:

Genel durum sorgulaması:

- Kafes çarpmasının yaşanmasındaki mekanik arıza ve tavan durdurma mekanizması arasındaki ilişki nasıl açıklanabilir?

Cevap: Mekanik bir arıza ile kafesin yukarıya doğru hareketinin hızlanması ya da kafesin dur komutana uymasının sağlanamaması durumunda devreye girmesi beklenen tavan durdurma mekanizmasının çalışmaması, kafes çarpma kazasının yaşanmasına neden olacaktır. İlgili olayın nedenleri ile olan ilişkisi, mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi olayının nedenleri ile olan ilişkisi ile özdeş kabul edilebilir.

Çıkarım: Motor kaynaklı bir çarpma olması için mekanik arıza olayı ile tavan durdurma mekanizmasının devreye girmemesi olayları birbirine "ve mantık kapısı" ile bağlı olur ve şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.52'de verildiği gibidir:

Çizelge 5.52 : "Motor kaynaklı çarpma" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Mekanik arıza	Hayır		Evet	
Tavan durdurma mekanizması	Çalışıyor	Çalışmıyor	Çalışıyor	Çalışmıyor
Hayır	1	1	1	0
Evet	0	0	0	1

5.3.4.42 Tavan durdurma mekanizması

Vinç sistemlerinin önemli eklentilerinden olan tavan durdurma mekanizmasının gerekli durumlarda çalışıyor olması, uygulanan bakım etkinliğine bağlı görülmektedir.

Genel durum sorgulaması:

- Tavan durdurma mekanizmasının gerektiği durumlarda devreye girmesinin, bakımın etkinliği ile olasılıksal ilişkisi için ne söylenebilir?

Cevap: Kafesin yukarıya doğru hareketi sırasında hızlanması durumunda ya da durması gereken son nokta sınırını geçmesi durumunda devreye girmesi gereken tavan durdurma mekanizmasının bakım etkinliği olan olasılıksal ilişkisi, paraşüt sistemi, mekanik arıza ve otomatik fren sistemi ile özdeş kabul edilebilir.

Çıkarım: Bakım unsurunun ilişkili olduğu sistemlerle olan nedensel ilişkisinin aynı olması ile olasılık tablosu doğrudan Çizelge 5.53'te belirtilmiştir:

Çizelge 5.53 : "Tavan durdurma mekanizması" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları	
Bakım	Yeterli	Yetersiz
Çalışıyor	0,999	0,5
Çalışmıyor	0,001	0,5

5.3.4.43 Operatör kaynaklı çarpma

Kafes çarpma kazasının gerçekleşme nedenlerinden biri olarak görünen operatör kaynaklı çarpma olayının ebeveyn değişkenleri, kumanda hatası ve tavan durdurma

mekanizması olarak görülmektedir. Olayların olasılıksal ilişkilerini ortaya çıkaran sorgulama aşağıdaki gibidir:

Genel durum sorgulaması:

- Operatörün kafesin yeryüzüne çıktığında, kafesi durdurmak için gerekli kumanda hareketini yapmaması ya da yapamaması, kafesin tavana çarpmasına hangi şartlarda neden olur?

Cevap: Eğer operatör kumanda hatası yaparsa ve tavan durdurma mekanizması devreye girmezse kafes tavana çarpacaktır. Durdurma mekanizması çalışırsa, kafesin tavana çarpması önlenmiş olacaktır. Kumanda hatası ve önleyici tedbir olan durdurma mekanizmasının çalışmamasının aynı anda meydana gelmesi halinde, kafes tavana çarpacaktır.

Çıkarım: Tavana çarpma kazalarından biri olan operatör kaynaklı çarpma olayı, operatör kumanda hatası ve tavan durdurma mekanizmasının devreye girmemesi olaylarının birbirine "ve mantık kapısı" ile bağlı olarak meydana gelmesi ile gerçekleşmektedir.

Operatör kaynaklı kafes düşmesi olayına dair şartlı olasılık değerleri doğrudan Çizelge 5.54'te verildiği gibi oluşturulabilir:

Çizelge 5.54 : "Operatör kaynaklı çarpma" düğümü şartlı olasılık tablosu.

Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Operatör kumanda hatası	Hayır		Evet	
Tavan durdurma mekanizması	Çalışıyor	Çalışmıyor	Çalışıyor	Çalışmıyor
Hayır	1	1	1	0
Evet	0	0	0	1

5.3.5 Ağ parametrelerinin tutarlılık kontrolleri

Çalışmada doğrudan olasılık çıkarım yöntemi kullanılmış olsa da çıkarım sürecine analist tarafından yapılan müdahaleler ile olasılık belirleme sürecine tutarlılık kontrolü eklenmiş olur. Olasılık çıkarımı sırasında, hem uzmanlara eski olasılık çıkarımlarını kontrol etmeleri için imkân yaratılır, hem de uzmanların düşünsel olarak bilmelerine rağmen, tanımlamasını hiç yapmadıkları ebeveyn değişkenlerin etkilerine dair farkındalıklarının artması sağlanır. Dolayısıyla, ağ içinde yer alan tüm değişkenlere dair şartlı olasılık değerleri tutarlılık kontrolleri sürdürülerek sorgulanmıştır.

Uzmana, çoklu ebeveyne sahip değişkenlere dair olasılık sorgulamaları yöneltirken, durum kombinasyonlarını sıra ile sormak uzmanın zihninde karışıklığa sebep olacaktır. Durum kombinasyonları, uzmanların cevaplarına göre sıralanmalıdır. Yanıtlaması en kolay durum kombinasyonlarının, en iyi ve en kötü durumu yansıtan kombinasyonlar olduğu, çıkarım sürecince anlaşılmıştır. Bu yüzden ilk önce en iyi ve en kötü senaryoların sorgulaması yapılmıştır. Uzmanların, olay nedenlerinin durumsal kombinasyonlarına dair öncelikle olasılık değerlerinin en düşük ve en yüksek değerlerini düşünmesi ve olasılık sınırlarını belirlemeleri, cevapların tutarlılığının uzmanlarla birlikte kontrol edilebilmesine katkı sağlanmıştır.

Uzmanların sunduğu olasılık çıkarımları, gerekli görüldüğü yerlerde nedenleriyle tekrar sorgulanmış, uzmanın çıkarımına karşı hakimiyetinden emin olunarak çıkarım sürecinin tutarlılığının arttırılmasına çalışılmıştır.

Uzmanlar, olayların nedenlerine bağlı gerçekleşmeleri ile ilişkili olasılık belirlenmesi için öncelikle olaylar arasındaki ilişkilerin genel durumunun ortaya çıkarılması için sorgulanmıştır. Hata ağacı mantığındaki 0-1 olasılık ilişkileri kapsamında "VE-VEYA mantık kapıları" ile birbirine bağlı olaylar, diğer bir deyişle 'gerek şart' ilişkileri sunan olaylar için doğrudan olasılık çıkarımlaması yapılabilmiştir. Çıkarımlama ile oluşturulan olasılık tabloları tutarlılık kontrolünün sağlanması için uzmanlara doğrudan gösterilmiştir. Böylelikle olasılık çıkarımın sürecinin yer yer hızlanması sağlanmıştır.

Olasılık çıkarım tablosu oluşturulurken, ikiden fazla ebeveyni olan değişkenler için, ebeveyn değişkenler, olay üzerindeki etki seviyesine göre sorgulanmalı ve şartlı olasılık tablosuna ilgili sırayla aktarılmalıdır. Böylelikle bağımlı olayın durumsal olasılık değişikliklerinin azalan ya da artan değerler şeklinde belli bir düzen içinde sorgulanması ve cevaplanması sağlanabilir ve varsa tutarsızlıklar tespit edilir.

Çalışmadaki özellikle 3 ebeveynli değişkenlerin olasılık çıkarımı için, noisy-or uygulaması kullanılmaya çalışılmıştır. Fakat faktörlerin çocuk değişken üzerindeki tekli etkilerinin göz önüne alınmasının, kök nedenlerin istenmeyen olaylar üzerindeki etkilerini en doğru şekilde yansıtma konusunda yetersiz kalacağı düşünülmüştür.

Olasılık değerlerinin tutarlılıklarının sağlanmasında uzmanların çıkarım sürecindeki konforu ön planda tutulmuştur. Uzmanlara cevap formları konusunda serbestlik tanınmış, olasılık değerleri için yüzde ifadelerini kullandıkları gözlenmiştir.

Ağ parametrelerinin tutarlılığının uzmanlarla sorgulanabilmesi için aşağıdaki gibi birtakım tablolar oluşturulmuştur. Oluşturulmuş Bayes ağındaki tüm olayların, en iyi senaryolarına dair şartlı olasılık değerlerinin tamamı, Çizelge 5.55'de görülmektedir.

Çizelge 5.55 : Ağ içindeki olayların en iyi şartları altındaki gerçekleşme olasılıkları.

Olay	En iyi ebeveyn koşulları			Gerçekleşme olasılığı
Akciğer rahatsızlığı	Toz bastırıcı su sisteminin olması	KKD kullanımının olması		0,01
Toz bastırıcı su sist. kullanılmaması	Yeterli Eğitim	Yeterli planlama		0
KKD kullanılmaması	Yeterli Eğitim	Yeterli planlama		0
Patlamadan etkilenme	Kontrol dışı patlama olmaması	Patlama bölg. bulunmama		0
Ateşleme kur. uyum	Yeterli eğitim	Yeterli dikkat		0,01
Ateşleme sonrası kontrol	Yeterli eğitim	Yeterli denetim		0,0001
Kontrol dışı patlama	Ateşleme kurallarına yeterli uyum	Ateşleme sonrası yeterli kontrol		0,01
Patlatma uyarısı	Yeterli eğitim	Yeterli denetim		0
Patlatma bölg. bulunma	Patlatma uyarısı	Yeterli eğitim		0
Ekipman yaralanması	Yeterli eğitim	Yeterli dikkat	Düzgün çalışma zemini	0,01
Gaz-sel patlaması	Su-gaz birikmemesi	Yeterli saha kontrolü		Ve mantık kuralı ile 0
Su-gaz birikmesi	Sağlam jeolojik yapı			0,05
Saha kontr. yetersizliği	Yeterli eğitim	Yeterli denetim		0,05
Kavlak düşmesi	Sağlam jeolojik yapı	Yeterli kavlak düşürme	Tahk. etkin olması	0,01
Yetersiz kavlak düşürme	Sağlam jeolojik yapı	Kavlak kontrol		0,05
Kavlak kont. yetersizliği	Yeterli eğitim	Yeterli dikkat		0,1
Fiziksel zorlama	Yeterli eğitim	Düzgün çalışma zemini	Yeterli dikkat	0,05
Düşme	Yeterli dikkat	Düzgün çalışma zemini	Yeterli eğitim	0,05
Göçük	Tahk. etkin olması	Sağlam jeolojik yapı		0,01
Tahkimat kontrol	Yeterli denetim	Yeterli eğitim		0,01
Tahkimat etkinliği	Tahkimatın kontrol	Sağlam jeolojik yapı		0,01
Kepçe devrilmesi	Yeterli eğitim	Düzgün çalışma zemini	Yeterli dikkat	0,01
Operatör sebepli aracın çalışana çarpması	Yeterli eğitim	Yeterli dikkat	Düzgün çalışma zemini	0,01
Arıza sebepli aracın çalışana çarpması	Bakımın yeterli yapılması			0,001
Bakım	Yeterli Eğitim	Yeterli planlama		0,01
Çalışanın üzerine malzeme düşmesi	Rayın kaliteli olması	Yeterli eğitim	Yeterli dikkat	0,01
Ray kalitesi	Yeterli eğitim	Yeterli denetim		0,01
Vagon sebepli sıkışma	Yeterli eğitim	Yeterli dikkat		0,01
Kafes boşluğuna düşme	Karakol kapısının kapalı olması	Yeterli eğitim	Yeterli dikkat	Ve mantık kuralı ile 0
Karakol kapısının kapalı olması	Yeterli eğitim	Yeterli dikkat		0,001
Halat kaynaklı kafes düşmesi	Halat kopmasının yaşanmaması	Paraşüt sisteminin çalışması		Ve mantık kuralı ile 0
Halat kopması	Yeterli bakım			0,001
Paraşüt sist. çalışmaması	Yeterli bakım			0,001
Mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi	Otomatik fren sisteminin çalışması	Mekanik arızanın olmaması		Ve mantık kuralı ile 0
Otomatik fren sist. çalışmaması	Yeterli bakım			0,001
Mekanik arıza	Yeterli bakım			0,01
Operatör kaynaklı kafes düşmesi	Operatör kumanda hatasının olmaması	Otomatik fren sisteminin çalışması		0,001
Operatör kumanda hatası	Yeterli eğitim	Yeterli dikkat		0,001
Motor kaynaklı kafes çarpması	Mekanik arıza olmaması	Tavan durdurma mekanizmasının çalışması		Ve mantık kuralı ile 0
Tavan durdurma mek. Çalışmaması	Yeterli bakım			0,001
Operatör kaynaklı kafes çarpması	Operatör kumanda hatasının olmaması	Tavan durdurma mekanizmasının çalışması		Ve mantık kuralı ile 0

Çizelge 5.55 incelendiğinde olayların en iyi koşulları altındaki gerçekleşme olasılıkları için, 0.1, 0.01, 0.05, 0.001, 0.0001 ve 0 değerlerinin verildiği görülmektedir. Hata ağaçlarındaki "ve mantık kapıları" aracılığıyla doğrudan 0 değerini alan olaylar çıkarım sürecini hızlandıran noktalar olarak kabul edilebilir. Çizelge 5.56'da atanan tüm değerlere karşılık gelen olaylar gruplanmış ve uzmanlara kontrol etmeleri için tekrar sunulmuştur.

Çizelge 5.56 : Bayes ağında olayların en iyi koşullarına dair atanan şartlı olasılık değerleri.

Olasılık değeri	En iyi koşulları altında ilgili olasılık değerinin atandığı olaylar
0,1	Kavlak kontrolünün yetersizliği
0,01	Akciğer rahatsızlığı, Ateşleme kurallarına uyum, Kontrol dışı patlama, Ekipman yaralanması, Kavlak düşmesi, Göçük, Tahkimat kontrol, Tahkimatın etkinliği, Kepçe devrilmesi, Operatör sebepli çalışana araç çarpması, Bakım, Çalışanın üzerine malzeme düşmesi, Ray kalitesi, Vagon sebepli sıkışma, Mekanik arıza.
0,05	Su-gaz birikmesi, Saha kontrolü, Kavlak düşürme, Fiziksel zorlama, Düşme
0,001	Arıza sebepli çalışana arça çarpması, Karakol kapısının kapalı olması, Halat kopması, Paraşüt sisteminin çalışmaması, Otomatik fren sisteminin çalışmaması, Otomatik fren sisteminin çalışmaması, Operatör kaynaklı kafes düşmesi, Operatör kumanda hatası, Tavan durdurma mekanizmasının çalışmaması.
0,0001	Ateşleme sonrası kontrol
0	Toz bastırıcı su sisteminin kullanılmaması, KKD kullanılmaması, Patlamadan etkilenme, Patlama uyarısı, Patlama bölgesinde bulunma, Gaz-sel patlaması, Kafes boşluğuna düşme, Halat kaynaklı kafes düşmesi, Mekanik kaynaklı kafes düşmesi, Motor kaynaklı ve Operatör kaynaklı kafes tavana çarpması

En iyi koşullar altında dahi, kavlak kontrolünün 0,1 olasılıkla yeterli bir şekilde gerçekleştirilemeyeceğine dair olasılık, çalışmada en iyi koşullar altındaki en çok beklenen olumsuz durumu yansıtmaktadır. 0'dan farklı en küçük değer olan 0,0001 olasılık değeri ise, ateşleme sonrası kontrolün en iyi şartlar altında dahi başarısız sonuç sunmasının olası olduğunu gösteren bir değerdir. 0,01 ve 0,001 olasılık değerlerinin ise gerçekleşmesinde insan performansının etkisinin önemi düzeyde olduğuna inanılan olayların en iyi koşullar altında bırakılan başarısızlık payı olduğu görülmüştür. 0,05 değerlerinin de en iyi koşullar altında dahi önlenmesinin zor olan olaylar için kullanıldığı anlaşılmış olup, böylelikle olaylara atanan en iyi koşulları sunan şartlı olasılık değerlerinin kontrolleri sağlanmıştır.

Bayes ağındaki olaylar için en kötü şartlar altında atanmış şartlı olasılık değerleri de Çizelge 5.57'de sunulmuştur. Olayların nedenlerine bağlı en kötü senaryolar altında gerçekleşme olasılıkları için 0.01, 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9, 0.99 ve 1 olasılık değerlerinin atandığı görülmektedir. Çizelge 5.58'de görülen hangi olasılık değerlerinin hangi olaylara atandığını gösteren tablonun yardımıyla, uzmanlardan olay olasılıkları için atadıkları bu değerlerin tutarlılık kontrollerini yapmaları istenmiştir.

Çizelge 5.57 : Olayların en kötü şartları altındaki gerçekleşme olasılıkları.

Olay	En kötü ebeveyn koşulları			Gerçekleşme olasılığı
Akciğer rahatsızlığı	Toz bast. su sist.ollmaması	KKD kull. olmaması		0,9
Toz bastırıcı su sist. kullanılmaması	Yetersiz eğitim	Yeterli planlama		1
KKD kullanılmaması	Yetersiz eğitim	Yeterli planlama		1
Patlamadan etkilenme	Kontr. dışı patlama olması	Patlama bölg. bulunma		1
Ateşleme kurallarına uymama	Yetersiz eğitim	Yeterli dikkat		0,5
Ateşleme sonrası kontrolün yetersizliği	Yetersiz eğitim	Yetersiz denetim		0,5
Kontrol dışı patlama	Ateşleme kurallarına yeterli uyum	Ateşleme sonrası yeterli kontrol		0,5
Patlatma uyarısının yetersizliği	Yetersiz eğitim	Yetersiz denetim		0,7
Patlatma bölg. bulunma	Patlatma uyarısı	Yetersiz eğitim		0,5
Ekipman yaralanması	Yetersiz eğitim	Yetersiz dikkat	Eng çalışma zem.	0,5
Gaz-sel patlaması	Su-gaz birikmesi	Yetersiz saha kontrolü		0,5
Su-gaz birikmesi	Kırıklı jeolojik yapı			0,3
Yetersiz saha kontrolü	Yetersiz eğitim	Yetersiz denetim		0,5
Kavlak düşmesi	Kırıklı jeolojik yapı	Yetersiz kavlak düşürme	Tahk. Etk olmaması	0,99
Yetersiz kavlak düşürme	Sağlam jeolojik yapı	Kavlak kontrolünün yetersizliği		0,9
Kavlak kontrolün yetersizliği	Yetersiz eğitim	Yetersiz dikkat		0,9
Fiziksel zorlama	Yetersiz eğitim	Engebeli çalışma zemini	Yetersiz dikkat	0,7
Düşme	Yetersiz dikkat	Engebeli çalışma zemini	Yetersiz eğitim	0,7
Göçük	Tahkimatın etkin olmaması	Kırıklı jeolojik yapı		0,5
Tahkimat kontrol	Yeterli denetim	Yetersiz eğitim		0,5
Tahkimat etkinliği	Tahkimatın yetersiz kontr.	Kırıklı jeolojik yapı		0,9
Kepçe devrilmesi	Yetersiz eğitim	Engebeli çalışma zemini	Yetersiz dikkat	0,2
Operatör sebepli aracın çalışana çarpması	Yetersiz eğitim	Yetersiz dikkat	Engebeli çalışma zemini	0,3
Arıza sebepli aracın çalışana çarpması	Bakımın yeterli yapılmaması			0,1
Bakım	Yetersiz eğitim	Yetersiz planlama		0,5
Çalışanın üzerine malzeme düşmesi	Rayın kaliteli olması	Yetersiz eğitim	Yetersiz dikkat	0,7
Ray kalitesi	Yetersiz eğitim	Yetersiz denetim		0,7
Vagon sebepli sıkışma	Yetersiz eğitim	Yetersiz dikkat		0,3
Kafes boşluğuna düşme	Karakol kapı. kapalı olması	Yetersiz eğitim	Yetersiz dikkat	0,1
Karakol kapısının açık olması	Yetersiz eğitim	Yetersiz dikkat		0,5
Halat kaynaklı kafes düşmesi	Halat kopmasının yaşanması	Paraşüt sisteminin çalışmaması		Ve mantık kuralı ile 1
Halat kopması	Bakımın yeterli yapılmaması			0,3
Paraşüt sistemi	Bakımın yeterli yapılmaması			0,5
Mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi	Otomatik fren sisteminin çalışmaması	Mekanik arızanın olması		Ve mantık kuralı ile 1
Otomatik fren sisteminin çalışmaması	Bakımın yeterli yapılmaması			0,5
Mekanik arıza	Bakımın yeterli yapılmaması			0,01
Operatör kaynaklı kafes düşmesi	Operatör kumanda hatasının olması	Otomatik fren sisteminin çalışmaması		Ve mantık kuralı ile 1
Operatör kumanda hatası	Yetersiz eğitim	Yetersiz dikkat		0,1
Motor kayn. kafes çarpması	Mekanik arıza olması	Tavan durdurma mek. çalışmaması		Ve mantık kuralı ile 1
Tavan durdurma mek. çalışmaması	Bakımın yeterli yapılmaması			0,5
Operatör kaynaklı kafes çarpması	Operatör kumanda hatasının olması	Tavan durdurma mek. çalışmaması		Ve mantık kuralı ile 1

Çizelge 5.58'de, en kötü senaryolar için atanmış olan en küçük olasılık değerinin, bakım yetersizliği sebepli aracın kumanda edilememesine neden olacak bir mekanik arızanın yaşanması ihtimali için verildiği görülmektedir. En yüksek değerlerin ise nedenlerinin hata ağacındaki "ve mantık kapıları" aracılığıyla birbirine bağlandığı

olaylar için atandığı görülmektedir. Uzmanlar tarafından, "ateşleme kurallarına uyum, ateşleme sonrası kontrolün yetersizliği, kontrol dışı patlama, patlama bölgesinde bulunma, ekipman yaralanması, gaz-sel patlaması, saha kontrolünün yetersizliği, göçük, tahkimat kontrolün yetersizliği, bakım, karakol kapısının açık olması, paraşüt sisteminin çalışmaması, otomatik fren sisteminin çalışmaması, otomatik fren sisteminin çalışmaması ve tavan durdurma mekanizmasının çalışmaması" olaylarının en kötü şartlar altında %50 yaşanma ihtimali olduğu düşünülmüştür. İhmali ya da yaşanması durumunda çok tehlikeli çıktılarının olabileceği olaylar için düşük olasılık değil, yarı yarıya seviyesinde, yeraltı madeni için oldukça yüksek kabul edilebilecek olan 0,5 olasılık değerlerinin atanması, bu olayların yaşanmaması için mutlak önlemlerin alınmasını gerektirmektedir. 0.7, 0.9, 0.99 ve 1 olasılık değerlerinin atandığı diğer olayların ise, önlemlerin alınmaması durumunda yaşanmasının mutlak ya da mutlağa yakın olaylar olduklarını düşünmek mümkündür. Uzmanların olaylar ve ilişkili olasılık değerlerini sıralı olarak gördüğü bu tabloların, tutarlılık kontrolü için faydalı bir araç olduğu belirtilmiştir.

Çizelge 5.58 : Bayes ağında olayların en kötü koşullarına dair atanan şartlı olasılık değerleri.

Olasılık değeri	En iyi koşulları altında ilgili olasılık değerinin atandığı olaylar
0,01	Mekanik arıza.
0,1	Arıza sebepli çalışana araç çarpması, Kafes boşluğuna düşme, Operatör kumanda hatası.
0,2	Kepçe devrilmesi.
0,3	Su-gaz birikmesi, Operatör sebepli çalışana araç çarpması, Vagon sebepli sıkışma, Halat kopması.
0,5	Ateşleme kurallarına uyum, Ateşleme sonrası kontrolün yetersizliği, Kontrol dışı patlama, Patlama bölgesinde bulunma, Ekipman yaralanması, Gaz-sel patlaması, Saha kontrolünün yetersizliği, Göçük, Tahkimat kontrol, Bakım, Karakol kapısının açık olması, Paraşüt sisteminin çalışmaması, Otomatik fren sisteminin çalışmaması, Otomatik fren sisteminin çalışmaması, Tavan durdurma mekanizmasının çalışmaması.
0,7	Patlama uyarısının yetersizliği, Fiziksel zorlama, Düşme, Çalışanın üzerine malzeme düşmesi, Ray kalitesi.
0,9	Akciğer rahatsızlığı, Yetersiz kavlak düşürme, Kavlak kontrolünün yetersizliği, Tahkimatın etkinliği.
0,99	Kavlak düşmesi.
1	Toz bastırıcı su sisteminin kullanılmaması, KKD kullanılmaması, Patlamadan etkilenme, Halat kaynaklı kafes düşmesi, Mekanik kaynaklı kafes düşmesi, Operatör kaynaklı kafes düşmesi, Motor kaynaklı kafesin tavana çarpması, Operatör kaynaklı kafes tavana çarpması

Yapılan çıkarımların uzmanlar tarafından ilişkili tablolar üzerinden kontrollerinin sağlanması ve gerekli düzenlemelerin yapılması ile çalışma kapsamında belirlenen parametrelerin tutarlı olduğu kabul edilmiştir. Böylelikle değişkenlerin aralarındaki şartlı ilişkilerin, en iyi ve en kötü senaryolar altında aldıkları olasılık değerlerine dair tutarlılık kontrollerinin yapılması tamamlanır.

Görüldüğü gibi, sübjektif olasılık değerlerinin tutarlılıkları aşağıdaki üç yöntemle sağlanmaya çalışılmıştır:

1. Olay birleşimlerine dair çıkarımlanan şartlı olasılık değerlerinin kontrolleri olasılık çıkarım süreçlerine ikili karşılaştırmalarla entegre edilmesi.
2. Uzmanların olay bazındaki çıkarımlarını her olaya dair yaptıkları şartlı olasılık belirlemelerinin tamamlanması ile bütünsel olarak (sıralamalı) kontrol etmeleri.
3. Tüm olasılık çıkarımları sona erdikten sonra olaylar arasındaki ilişkilerin en iyi ve en kötü senaryoları altındaki olasılık değerlerinin sıralanması ile tutarlılık kontrollerinin yapılması.

5.3.6 İstenmeyen olay şiddetlerinin durumsal parametre olarak ilgili değişkenlere yansıtılması

Çalışma kapsamında literatürdeki kaza risk analizlerinden farklı olarak, yeraltı madeni süreçlerinde, çalışanların İSG koşullarına zarar verecek her türlü istenmeyen olayın, yaşanma sıklıkları, şiddetleri ya da fark edilebilirliklerine bakılmaksızın risk değerlendirmesine dahil edilmesi gerektiği düşünülmüştür. Dolayısıyla çalışmada risk analizi için oluşturulan ağ içinde çoklu üst-olayın bulunması ve her birinin farklı şiddette çıktılarının olması sebebiyle tüm kazaları bir arada değerlendirebilmek adına, olay değişkenlerine her birine kaza şiddetlerini yansıtır durumsal parametrelerin ataması yapılmıştır. Böylelikle, çalışma motivasyonuna uygun olarak şiddeti ne olursa olsun güvenlik riski taşıyan tüm mesleki kazaların kapsamlı bir şekilde ele alınması sağlanmıştır. Çünkü hiçbir çalışanın hangi şiddette olursa olsun zarar görmesine sebep olacak bir olay asla kabul edilemez.

İstenmeyen olayın gerçekleşme ihtimali varsa o kazanın hangi ihtimalle hangi şiddette bir kazaya yol açacağının da sorgulanması gerekmektedir. Olayların kazanın meydana gelmesine neden olmaları halinde, kazanın türüne göre değişen kaza şiddetinin de değerlendirilebilmesi için, şiddet seviyeleri üst olay değişkenlerine durum olarak yansıtılmıştır. Kaza şiddetleri, çalışanların kaza sonrasındaki iş göremezlik derecelerine göre seviyelendirilmiştir. Böylelikle ağ içinde ele alınan kazaların olası şiddet seviyelerine bağlı gerçekleşme olasılıkları da incelenebilecektir. Çizelge 5.59'da çalışanların kaza sonrasındaki iş göremezlik derecelerine göre kazayı belirten

üst olay değişkenlerine atanmış olan şiddeti yansıtır değişken durum parametreleri, açıklamaları ile birlikte verilmiştir.

Çizelge 5.59 : İstenmeyen olay şiddet seviyeleri.

Şiddet Derecesi	Açıklaması
Zarar vermemesi	Kazanın, çalışana zarar vermeme durumu
Düşük şiddet 0-2 gün rapor	Kazanın, çalışanın 0 ile 2 gün arasında iş görememesine neden olması
Orta şiddet 3-30 gün rapor	Kazanın, çalışanın 3 ile 30 gün arasında iş görememesine sebep olması
Şiddetli +30 gün rapor – geçici iş göremez	Kazanın, çalışanın 30 günden fazla iş görememesine sebep olması
Kalıcı iş göremez - ölüm	Kazanın çalışanın kalıcı iş görememesine neden olması ya da ölüm

Risk analizi çalışmasının Bayes ağları yardımıyla yapılması sayesinde, kaza çıktılarını da ele almak mümkün olmuştur. Gerçekleşen kazaların sonuçlarının, "yaralanmaya sebep olmaması, çalışanın 0-2 gün arasında raporlu olması, çalışanın 3-30 gün arasında raporlu olması, çalışanın 30 günden fazla raporlu olması ve çalışanın kalıcı iş göremezlik durumu ya da ölümüne neden olması" şeklinde ağa yansıması sağlanmıştır. Kazanın gerçekleşme ihtimali varsa o kazanın hangi ihtimalle hangi şiddette bir kazaya yol açacağı, şiddet seviyeleri üst olay değişkenlerine durum olarak yansıtılarak sorgulanacaktır.

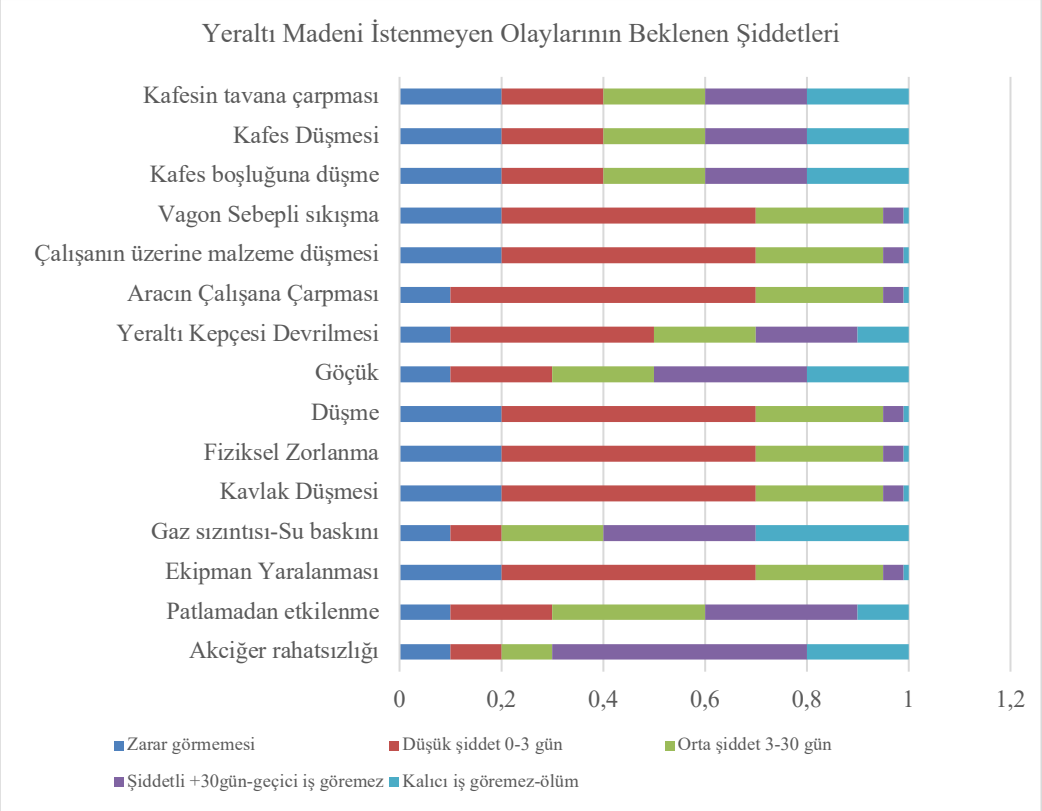
Çalışmada ele alınan üst olaylar, 15 istenmeyen olay olarak belirlenmiştir. 15 farklı olayın uzmanlar aracılığıyla, gerçekleşmeleri halinde çalışanlara hangi şiddet seviyelerinde zarar verecekleri uzmanlar tarafından Çizelge 5.60'daki gibi belirlenmiştir:

Çizelge 5.60 : Olayların muhtemel şiddet çıktıları.

	Zarar görmemesi	Düşük şiddet 0-3 gün iş görememe	Orta şiddet 3-30 gün iş görememe	Şiddetli +30gün-geçici iş görememe	Kalıcı iş görememe-ölüm
Akciğer rahatsızlığı	0,1	0,100	0,100	0,500	0,200
Patlamadan etkilenme	0,1	0,2	0,3	0,3	0,1
Ekipman Yaralanması	0,2	0,500	0,250	0,040	0,010
Gaz sızıntısı-Su baskını	0,1	0,1	0,2	0,3	0,3
Kavlak Düşmesi	0,2	0,500	0,250	0,040	0,010
Fiziksel Zorlanma	0,2	0,500	0,250	0,040	0,010
Düşme	0,2	0,500	0,250	0,040	0,010
Göçük	0,1	0,200	0,200	0,300	0,200
Yeraltı Kepçesi Devrilmesi	0,1	0,400	0,200	0,200	0,100
Aracın Çalışana Çarpması	0,1	0,600	0,250	0,040	0,010
Çalışanın üzerine malzeme düşmesi	0,2	0,500	0,250	0,040	0,010
Vagon Sebepli sıkışma	0,2	0,500	0,250	0,040	0,010
Kafes boşluğuna düşme	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Kafes Düşmesi	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2
Kafesin tavana çarpması	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2

Çalışma kapsamında uzmanlarca belirlenmiş olayların olasılıksal şiddet değerleri, Şekil 5.33'teki grafiğe dönüştürülmüştür. Böylelikle, yeraltı madeni istenmeyen olaylarına dair belirlenen olasılıklar, uzmanlara görsel olarak sunulmuş ve grafiğe göre aşağıdaki çıkarımlar yapılmıştır.

- Beklenen şiddeti en fazla olan olay, "gaz sızıntısı-su baskını"dır.
- Gaz sızıntısı-su baskını olayından sonra, en şiddetli çıktıların beklendiği olaylar; "kafesin tavana çarpması ve düşmesi, kafes boşluğuna düşme, göçük, akciğer rahatsızlıkları ve yeraltı kepçesi devrilmesi" dir.
- "Vagon sebepli sıkışma, çalışanın üzerine malzeme düşmesi, aracın çalışana çarpması, yeraltı kepçesi devrilmesi, düşme, fiziksel zorlanma, kavlak düşmesi ve ekipman yaralanması" olaylarının en fazla beklenen çıktısı, "0-3 gün İş görememe" dir.
- Akciğer rahatsızlığı olayının en fazla beklenen şiddet çıktısı "+30 gün iş görememe" dir.
- "Kafesin tavana çarpması, kafes düşmesi ve kafes boşluğuna düşme" olayları için tüm şiddet çıktıları eşit oranda beklenmektedir.



Şekil 5.33 : Olayların beklenen şiddet olasılıkları.

Elde edilen verilere ait ilgili grafiğin uzmanlara kontrol için sunulması ile, hem her olayın şartlı olasılık değerlendirmelerinin kendi içinde kontrolü, hem de olay olasılıklarının bütünsel olarak birbirleri ile kıyaslanarak kontrolü sağlanmış olur. Böylelikle şartlı olasılık değerlerinin belirlenmesinde kullanılan tutarlılık yöntemlerine paralel bir uygulama yapıldığı kabul edilir.

5.3.7 Olayların, çalışanları faaliyetlere göre etki altında bırakma ağırlıkları

Çalışmada tanımlanan 15 istenmeyen olayın farklı faaliyetler kapsamında, çalışanları farklı seviyelerde etki altında bıraktığı kabul edilmiştir. Dolayısıyla istenmeyen olayların, faaliyetlere göre değişen risk-etki seviyelerinin belirlenmesi gerekir. Böylelikle faaliyetlerin çalışma kapsamında ele alınan istenmeyen olaylar sebepli risk değerlendirmeleri yapılabilecektir.

Örneğin, düşme kazasının yeraltı madeninde kepçe kullanımı ile gerçekleştirilen faaliyetler ve kafes nakliyatı faaliyetinin dışındaki tüm süreçlerde yaşandığı bilinmektedir. Fakat delme, ateşleme, tahkimat, kafes yükleme, ayna vb. faaliyetlerinin hepsinin düşme kazasına aynı derecede elverişli olmadığı da bilinmektedir. Patlatılarak gevşetilmiş malzemeyi kürekle kaldıran (ayna faaliyeti) bir çalışanla, vagonu kafese iterek yükleme yapan bir çalışanın istenmeyen olaylara dair aynı risk alanı içinde olduğu düşünülmemelidir. Bayes ağı içindeki belirli olaylar için, olayın beklendiği faaliyete göre farklılaşan değişken atamaları yapılmadığından, bu olayların aynı kök neden değerlerine sahip olduğu takdirde, aynı olay olasılıklarını vermesi olağanlığının dışına çıkılması amaçlanmıştır.

Çalışma kapsamında belirlenen her istenmeyen olayın ve yine çalışma kapsamındaki tüm yeraltı madeni faaliyetleri için, faaliyet süreleri ve olay-faaliyet risk etki alanı içinde bulunma seviyelerine dair parametreler oluşturulmuştur.

Çizelge 5.61'de bir mesai süresinde gerçekleştirilen faaliyetlerin süre temelli ağırlıkları verilirken, Çizelge 5.62'de de faaliyetlere göre olayların risk-etki alanı içinde bulunma seviyeleri verilmiştir. "*D*" istenmeyen olaya doğrudan maruz kalmayı, "*U*" dolaylı yoldan maruz kalmayı, "*RU*" uzak mesafeden maruz kalmayı ve "*N*" maruz kalmamayı ifade etmektedir. Örneğin, ateşleme-patlatma faaliyetinden sorumlu olan çalışanın içinde bulunduğu akciğer rahatsızlığı risk-etki alanı seviyesi "D-doğrudan" olarak nitelendirilirken, nakliye faaliyetinde görev yapan çalışanın içinde bulunduğu akciğer rahatsızlığı tehlikesi aynı değildir ve "U-dolaylı" olarak

nitelendirilmiştir. Henüz patlatma yapılmış bölgede gerçekleştirilen ayna faaliyeti kapsamında çalışan bir işçi, göçük riski-etki alanı içinde "doğrudan" bulunurken, yıllardır kullanılan ve ana yol olarak kabul edilen kafes boşluğu önünde faaliyet gösteren çalışan "uzaktan dolaylı bir şekilde" göçük risk-etki alanı içindedir.

Çizelge 5.61 : Faaliyetlerin mesai içerisindeki süreleri ve wt^j ağırlıklar.

Faaliyet	Süre (dak)	Ağırlık
Ateşleme	40	0,02685
Delme	20	0,01342
Yükleme- Oluk	100	0,06711
Ayna-kürek kull.	120	0,08054
Nakliyat-kepçe	300	0,20134
Tahkimat	100	0,06711
Nakliyat (el-vagon)	300	0,20134
Ayna-kepçe kull.	120	0,08054
Ocak içi Ekipman taşıma	50	0,03356
Yükleme-kafes	40	0,02685
Kafes nakliyat	300	0,20134

Çizelge 5.62 : Faaliyetlerin olayları risk etki alanı içinde bulundurma seviyeleri (λ_i^j).

	Akciğer rahatsızlığı	Patlamadan etkilenme	Ekipman Yaralanması	Gaz sızıntısı-Su baskını	Kavlak Düşmesi	Fiziksel Zorlanma	Düşme	Göçük	Yeraltı Kepçesi Devrilmesi	Aracın Çalışana Çarpması	Çalışanın üzerine malzeme düşmesi	Vagon Sebepli sıkışma	Kafes boşluğuna düşme	Kafes Düşmesi	Kafesin tavana çarpması
Ocak içi Ekipman	RU	RU	U	U	U	D	D	U	U	U	N	D	N	N	RU
Delme	D	D	D	D	U	D	U	D	N	N	N	N	N	N	N
Ateşleme	D	D	N	D	D	U	D	D	N	N	N	N	N	N	N
Tahkimat	U	RU	D	U	D	D	U	D	RU	RU	N	N	N	N	N
Ayna-kürek kull.	D	U	D	U	D	D	D	D	U	U	N	N	N	N	N
Ayna-kepçe kull.	U	U	N	U	N	N	N	D	D	N	N	N	N	N	N
Nakliyat (el-vagon)	U	RU	D	RU	U	D	D	U	U	D	D	D	U	U	N
Nakliyat-kepçe	U	RU	N	RU	N	N	N	U	D	N	N	N	N	N	N
Yükleme-Oluk	D	N	D	RU	RU	D	U	RU	N	N	D	D	N	N	N
Yükleme-kafes	RU	N	U	RU	RU	D	U	RU	N	D	D	D	D	D	D
Kafes nakliyat	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	D

Çizelge 5.62'de ifade edilen doğrudan, dolaylı ve uzaktan dolaylı risk-etki alanı seviyelerinin ("D", "U" ve "RU" değerlerinin) sayısallaştırılması için, uzman görüşlerine başvurulmuştur. 1-9 likert ölçeğine göre yanıt vermesi istenmiş olan

uzman grubuna sunulan ikili karşılaştırmalar matrisi ve ilgili değerlerin risk-etki alanında bulunmalarına dair nicel karşılıkları Çizelge 5.63'te görüldüğü gibidir:

Çizelge 5.63 : Risk-etki alanı seviyelerinin sayısallaştırılması.

Risk-etki alan seviyeleri	Doğrudan	Dolaylı	Uzak dolaylı	Ağırlık
Doğrudan-D	1	5	9	0,748
Dolaylı-U	0,2	1	3	0,180
Uzak dolaylı -RU	0,111	0,333	1	0,071

İkili karşılaştırmalarla belirlenen ağırlıkların tutarlılık indeksi ve tutarlılık oranı hesaplamaları yapılmış ve tutarlılık oranının 0,025 bulunması ile uzman verileri tutarlı kabul edilmiştir. Böylelikle faaliyetler bazında risk değerlendirmeleri yapabilmek için, olay-faaliyet risk-etki ağırlık parametreleri belirlenmiş olur. Denklem 4.4 aracılığıyla faaliyetlerin risk-etki ağırlıkları Çizelge 5.64'te verilmiştir.

5.3.8 Risk kontrol unsurları ile ilişkili parametreler

Ağa eklenen 10 risk kontrol unsurunun bir kısmı, ağ içinde bir ara olay olarak bulunurken, bir kısmı da ana faaliyetin farklı bir teknolojik ekipman ile kullanılmasına dair öneri olarak yer almaktadır. Ağa ara olay olarak eklenen değişkenlerin ağda konumlandıkları noktalara göre ebeveyn bağlantısı içinde olduğu olaylarla arasındaki ilişkileri gösterir şartlı olasılık değerleri oluşturulacaktır ya da ilişkili şartlı olasılık değerlerinin güncellenmesi gerekecektir. Önerilen ekipmanlar, eğer ana faaliyet ekipmanı ise de yeraltı madeni faaliyet sürelerinin, faaliyetler kapsamındaki olay-risk etki alanı seviyelerinin ve dolayısıyla olay risk-etki alanı ağırlıklarının güncellenmesi gerekmektedir. Ağa eklenen risk kontrol seçenekleri ile birlikte maden faaliyetlerinin sürelerinde beklenen değişiklikler ve güncellenen risk-etki alanı ile ilişkili parametreler uzmanlar aracılığıyla belirlenmiştir. Diğer yandan, ara olay halindeki risk kontrol unsurları ile ilişkili değişkenlerin de ağ içinde ilişki içinde bulundukları değişkenlerle ilişkili şartlı olasılık çıkarımlarının da ağ hesaplamaları için belirlenmesi gerekmektedir.

Çizelge 5.65'te faaliyetlerin, mevcut durumdaki ve risk kontrol seçenekleriyle gerçekleştirilmesi durumundaki, ağ içi süre temelli ağırlıkları (wt^j) verilmektedir. Uzmanlar gelişmiş teknolojik ekipman kullanımı ile süreçlerin her ne kadar daha fazla kısalacağını düşünseler de öngörülerini %25 oranında bir azalış olacağı şeklinde emniyetli bir biçimde sunmuşlardır.

Çizelge 5.64 : Yeraltı madeni istenmeyen olaylarının, mevcut maden faaliyetleri kapsamındaki r_i^j risk-etki ağırlıkları.

	Akciğer rahatsızlığı	Patlamadan etkilenme	Ekipman Yaralanması	Gaz sızıntısı-Su baskını	Kavlak Düşmesi	Fiziksel Zorlanma	Düşme	Göçük	Yeraltı Kepçesi Devrilmesi	Aracın Çalışana Çarpması	Çalışanın üzerine malzeme düşmesi	Vagon Sebepli sıkışma	Kafes boşluğuna düşme	Kafes Düşmesi	Kafesin tavana çarpması
Ocak içi Ekipman	0,0024	0,0024	0,0060	0,0060	0,0060	0,0251	0,0251	0,0060	0,0060	0,0060	0	0,0251	0	0	0,0024
Delme	0,0100	0,0100	0,0100	0,0100	0,0024	0,0100	0,0024	0,0100	0	0	0	0	0	0	0
Ateşleme	0,0201	0,0201	0	0,0201	0,0201	0,0048	0,0201	0,0201	0	0	0	0	0	0	0
Tahkimat	0,0121	0,0048	0,0502	0,0121	0,0502	0,0502	0,0121	0,0502	0,0048	0,0048	0	0	0	0	0
Ayna-kürek kull.	0,0602	0,0145	0,0602	0,0145	0,0602	0,0602	0,0602	0,0602	0,0145	0,0145	0	0	0	0	0
Ayna-kepçe	0,0145	0,0145	0	0,0145	0	0	0	0,0602	0,0602	0	0	0	0	0	0
Nakliyat (el-vagon)	0,0362	0,0143	0,1506	0,0143	0,0362	0,1506	0,1506	0,0362	0,0362	0,1506	0,1506	0,1506	0,0143	0,0362	0
Nakliyat-kepçe	0,0362	0,0143	0	0,0143	0	0	0	0,0362	0,1506	0	0	0	0	0	0
Yükleme-Oluk	0,0502	0	0,0502	0,0048	0,0048	0,0502	0,0121	0,0048	0	0	0,0502	0,0502	0	0	0
Yükleme-kafes	0,0019	0	0,0048	0,0019	0,0019	0,0201	0,0048	0,0019	0	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201	0,0201
Kafes nakliyat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1506

Çizelge 5.65 : Faaliyetlerin, mevcut durumdaki ve risk kontrol seçenekleri ile gerçekleştirildiği durumdaki wt^j süre temelli ağırlıkları.

Faaliyetler - Mevcut Durum	Süre (dak)	Normalizasyon-Ağırlık	Risk Kontrol Seçenekleriyle Faaliyetler	Süre (dak)	Normalizasyon-Ağırlık
Ocak içi Ekipman	50	0,03356	Ocak içi Ekipman	50	0,04292
Delme	20	0,01342	Delme	15	0,01288
Ateşleme	40	0,02685	Ateşleme	40	0,03433
Tahkimat	100	0,06711	Tahkimat	100	0,08584
Ayna-kürek kull.	120	0,08054	Ayna-kepçe kull.	90	0,07725
Ayna-kepçe kull.	120	0,08054	Uz. Kum. kepçe	90	0,07725
Nakliyat (el-vagon)	300	0,20134	Nakliyat-kepçe	225	0,19313
Nakliyat-kepçe	300	0,20134	Nakliyat-Lokomotif	225	0,19313
Yükleme- Oluk	100	0,06711	Oto. Oluk Yük.	75	0,06438
Yükleme-kafes	40	0,02685	Oto. Kafes Yük.	30	0,02575
Kafes nakliyat	300	0,20134	Otomatik Vinç Sistemi	225	0,19313

Risk kontrol seçeneklerinin eklendiği ağ içinde "kürek kullanımlı ayna faaliyeti" ile "vagon kullanımlı nakliyat" faaliyetinin olmayacağı varsayılmıştır. Teknolojik risk kontrol eklentisi olarak ağa dahil edilen ekipmanların, planlandığı gibi üretildiği ve sisteme adaptasyonlarının başarılı bir şekilde sağlandığı varsayılmıştır. Teknoloji eklentilerinin çalışma kapsamındaki tüm çıkarımlar, bu ekipmanların sisteme dahil olma aşaması değil, süreçlere entegrasyonunun tamamen sağlandığı ve normal kullanım süreçlerinin gerçekleştiği varsayılarak yapılmıştır.

5.3.8.1 Risk kontrol I: ana faaliyet ekipmanı – uzaktan kontrol edilebilen delme makinesinin kullanımı

Delme faaliyetinin kumandalı mekanizasyon sistemi ile uzaktan yönetilebilmesi ile delme operatörünün akciğer hastalığı, kavlak düşmesi ve göçük kazalarına daha az maruz kalırken, operatör, elektronik hata ve mekanik hata kaynaklı çalışan yaralamalarına sebebiyet verebileceği öngörülür.

Delme faaliyetinin uzaktan kontrol edilen bir sistemle yönetilmesi durumunda delme sürecinin hızlanmasının beklenmesine rağmen, operatörünün ilgili faaliyeti gerçekleştirme sürenin değişmeyeceği düşünülmüştür. Böylelikle, operatörün etki altında kalacağı toplam sürenin de değişmemesi beklenir. Çizelge 5.66'da delme operatörünün mevcut durumdaki ve risk kontrol seçeneğinin eklenmesi halindeki etki altında olduğu kazalar, bu kazalardan etkilenme dereceleri ve olayların operatörü maruz bıraktığı risk etki ağırlıkları verilmiştir.

Çizelge 5.66 : Delme operatörünün mevcuttaki ve önerilen ekipmana bağlı risk-etki alanı içinde bulunma seviyeleri ve risk-etki ağırlıkları.

İstenmeyen Olay	Operatörlü Mekanizasyon Delme (Mevcut ekipman)	Risk-etki Ağırlığı	Uzaktan Kontrol Edilebilen Delme Makinesi (Kumandalı mekanizasyon-Önerilen ekipman)	Risk-etki Ağırlığı
Akciğer rahatsızlığı	D	0,0100	U	0,0023
Patlamadan etkilenme	D	0,0100	U	0,0023
Ekipman Yaralanması	D	0,0100	-	0
Gaz sızıntısı-Su baskını	D	0,0100	U	0,0023
Kavlak Düşmesi	U	0,0024	RU	0,0009
Fiziksel Zorlanma	D	0,0100	-	0
Düşme	U	0,0024	RU	0,0009
Göçük	D	0,0100	U	0,0023
Yeraltı Kepçesi Devrilmesi	-	0	U	0,0023
Aracın Çalışana Çarpması	-	0	-	0
Çalışanın üzerine malzeme düşmesi	-	0	-	0
Vagon Sebepli sıkışma	-	0	-	0
Kafes boşluğuna düşme	-	0	-	0
Kafes Düşmesi	-	0	-	0
Kafesin tavana çarpması	-	0	-	0

5.3.8.2 Risk kontrol II: ara olay değişkeni – patlatma uyarı sistemi kullanımı

Patlatma uyarılarının sensörlü bir uyarı sistemi ile yapılması, ateşleme faaliyetinin görsel ve işitsel uyarılarını yapan çalışanın uyarı performansına bakılmaksızın, patlatma bölgesinde otomatik işleyen bir koruma sağlayacaktır. Uyarıların aktif ve yeterli düzeyde sağlanması, sistemin mekanik ve elektronik performansını belirleyen bakımın uygun şekilde planlanması ve sağlanmasına bağlıdır. Dolayısıyla patlatma uyarı sisteminin ağa risk kontrol seçeneği olarak eklenmesiyle, ağ içindeki bakım unsuru ile arasındaki ilişkili şartlı olasılık sorgulamaları ile ortaya çıkarılmalıdır.

En iyi senaryo sorgulaması:

- Patlatma uyarı sisteminin bakımlarının düzenli aralıklarda ve gerektiği şekilde yapılması durumunda, uyarı sisteminin işlevini yeterli düzeyde meydana getirmesi olasılığı için ne söylenebilir?

Cevap: Uyarı sistemi, bakımlarının gerektiği yeterlilikte yapılması koşulu ile bilinmeyen bir nedenle ilişkili olarak bırakılan olumsuzluk payı ile birlikte, planlı patlatma faaliyeti için 0,99 olasılıkla yeterli düzeyde uyarı yapılmasını sağlayacaktır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.132'de verildiği gibidir.

$$P(Patlatma\ uyarı\ sistemi_{Yeterli}|Bakım_{Yeterli}) = 0{,}99$$
$$P(Patlatma\ uyarı\ sistemi_{Yetersiz}|Bakım_{Yeterli}) = 0{,}01 \quad (5.132)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Patlatma uyarı sisteminin bakımlarının gerektiği yeterlilikte yapılmaması durumunda, patlatma uyarısı sisteminin işlevini yeterli düzeyde meydana getirmesi olasılığı için ne söylenebilir?

Cevap: Uyarı sistemi bakımlarının gerektiği yeterlilikte yapılmaması durumunda, ateşleme uyarılarının yeterli düzeyde sağlanması olasılığının yarı yarıya olumsuz olacağı düşünülerek ilgili olasılık için 0,5 değerinin verilmesi mümkündür.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.133'te verildiği gibidir.

$$P(Patlatma\ uyarı\ sistemi_{Yeterli}|Bakım_{Yetersiz}) = 0{,}5$$
$$P(Patlatma\ uyarı\ sistemi_{Yetersiz}|Bakım_{Yetersiz}) = 0{,}5 \quad (5.133)$$

Patlatma uyarı sisteminin bakım unsuruna bağlı şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.67'de belirtilmiştir:

Çizelge 5.67 : 'Patlatma uyarısı' faaliyeti için önerilen ekipman ve mevcut kullanımdaki yönteme bağlı şartlı olasılık tabloları.

Sensörlü Uyarı Sistemi Kontrol Bazlı Otomasyon (Önerilen ekipman)			Patlatma Uyarısı (Mevcut manuel yöntem)				
Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları		Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Bakım	Yeterli	Yetersiz	Eğitim	Yeterli		Yetersiz	
			Denetim	Yeterli	Yetersiz	Denetim	Yeterli
Yeterli	0,99	0,5	Yeterli	1	0,95	0,99	0,3
Yetersiz	0,01	0,5	Yetersiz	0	0,05	0,01	0,7

5.3.8.3 Risk kontrol III: ara olay değişkeni – kontrol sondajı yapılması

Yeraltı madenlerinde gerçekleştirilecek olan ilerleme noktalarında maden çıkartım süreçlerinin kesintisiz devam etmesini sağlamak için saha kontrolleri yapılmaktadır. Patlatma yapılacak bölgenin arkasında birikmiş su ya da gaz kütlesinin olup olmadığının öğrenilmesi için madenciler, bölgede yapılmış geçmiş çalışmalara ait haritalardan önemli ölçüde yararlanırlar. Geçmiş çalışmalara ait riskli oluşumların tahmin edilebilirliği yüksek kabul edilse bile, jeolojik nedenlerle ortaya çıkmış boşlukları kestirmek bazen imkansızlaşmaktadır. Ateşleme faaliyetinin ardından beklenmedik gaz ya da su birikintileri yüzünden gaz sızıntısı-su baskını gibi beklenmedik felaketler meydana gelebilmektedir. Bu sebeple, çalışmada saha kontrolü

olarak adlandırılmış olan, ilerlenecek bölgenin riskli bir oluşum içerip içermediğinin kontrolünün, daha rasyonel sonuçlar verecek olan kontrol sondajları ile gerçekleştirilmesinin çok daha makul olduğu düşünülebilir. Kontrol sondajının yeterliliğinin, sondajı uygulayan sorumlu çalışanın ilişkili İSG eğitimine bağlı olduğu kabul edilebilir. İSG denetim unsuru ile desteklenmesine gerek kalmayacak şekilde rutin ve kolay yorumlanan bir süreçle, ilerleme bölgesi hakkında önemli bir kesinlikte tahminler yapılabilecektir. Kontrol sondajının ilişkili şartlı olasılık sorgulamaları aşağıdaki gibidir:

En iyi senaryo sorgulaması:

- Kontrol sondajından sorumlu çalışanın sondaj yapımı ve sonuçların yorumlanması konusundaki bilgi düzeyinin yeterli olması halinde, kontrol sondajı faaliyetini doğru şekilde yapabilmesi konusunda olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Sondajın doğru okunmaması konusunda yeraltının bilinmeyen bir nedenine dair bırakılan bir hata payı ile birlikte kontrol sondajı kök nedeninin olumlu koşullar içinde olması durumunda, kontrol sondajının 0,99 olasılık değeri ile yeterli düzeyde bilgi sunacağı düşünülebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.134'te verildiği gibidir.

$$P(Kontrol\ Sondajı_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yeterli}) = 0{,}99$$
$$P(Kontrol\ Sondajı_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yeterli}) = 0{,}01 \quad (5.134)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Kontrol sondajından sorumlu çalışanın sondaj yöntemi ve yorumlaması konusundaki bilgi düzeyinin yetersiz olması durumunda, kontrol sondajının yeterliliği için olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Kontrol sondajının muhtemel olarak yeterli sonuç vereceği düşünülür. İlgili olasılık değerinin 0,7 olduğu söylenebilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.135'te verildiği gibidir.

$$P(Kontrol\ Sondajı_{Yeterli}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}) = 0{,}7$$
$$P(Kontrol\ Sondajı_{Yetersiz}|ISG\ Eğitim_{Yetersiz}) = 0{,}3 \quad (5.135)$$

"Kontrol sondajı" olayının İSG Eğitim unsuruna bağlı şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.68'de verildiği gibidir:

Çizelge 5.68 : 'Saha kontrol" faaliyeti için önerilen ekipman ve mevcut kullanımdaki yönteme bağlı şartlı olasılık tabloları.

Yeraltı Sondaj Makinesi Operatörlü Mekanizasyon Kontrol Sondajı (Önerilen ekipman)			Saha Kontrol (Mevcut Manuel Yöntem)				
Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları		Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
İSG Eğitim	Yeterli	Yetersiz	İSG Eğitim	Yeterli		Yetersiz	
			İSG Denetim	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Yeterli	0,99	0,7	Yeterli	0,95	0,7	0,7	0,5
Yetersiz	0,01	0,3	Yetersiz	0,05	0,3	0,3	0,5

5.3.8.4 Risk kontrol IV: ara olay değişkeni – kavlak düşürme makinesinin kullanımı

Yeraltı madeninde sıklıkla kazalara neden olan kavlakların, çalışanların üzerine düşmesinin en temel önlemi kavlakların kontrollü bir şekilde düşürülmesidir. Kavlak düşürme faaliyeti, gözle sağlanan kavlak kontrolleri ve düşmesi mümkün olan parçaların sivriç adı verilen uzun demir bir çubuk yardımıyla kontrollü bir şekilde düşürülmesidir. Kavlak düşürme faaliyetinin etkinliğini belirleyen unsur kavlak kontrolü sırasında düşürülecek parçaların doğru tespitinin yapılması ve jeolojik yapının kavlak düşürme için elverişliliğidir. Kavlak düşürme faaliyetinin makine gücünden yararlanılarak yapılmasının, kavlak düşürme etkinliğini arttıracağı düşünülür. İlişkili olasılık çıkarım sorgulaması aşağıdaki gibidir:

En iyi senaryo sorgulaması:

- Kavlak kontrolünün yeterli, jeolojik yapının da sağlam olduğu bir bölgede kavlak düşürme faaliyetinin yeterliliği hakkında ne söylenebilir?

Cevap: Düşürülecek parçaların tespiti tamamlandıktan sonra, makine kuvvetinden yararlanarak sağlanan kavlak düşürmenin 0,99 olasılıkla yeterli olacağı kabul edilir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.136'da verildiği gibidir.

$$P\left(Kavlak\ düşürme\ mak._{Yeterli} \mid Jeolojik\ yapı_{Sağlam}, Kavlak\ kontrol_{Yeterli}\right) = 0{,}99$$
$$P\left(Kavlak\ düşürme\ mak._{Yetersiz} \mid Jeolojik\ yapı_{Sağlam}, Kavlak\ kontrol_{Yeterli}\right) = 0{,}01 \quad (5.136)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Kavlak kontrolünün yetersiz, jeolojik yapının da kırıklı olduğu bir bölgede kavlak düşürme faaliyetinin yeterliliği hakkında olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Düşürülecek parçaların başarılı bir şekilde tespit edilememesi ve jeolojik yapının sürekli kavlak üretmeye uygun yapısı, kavlak düşürme faaliyetinin manuel olarak uygulanıyorsa etkinliğini neredeyse kaybolmasına neden olsa da, motor gücünden yararlanılarak gerçekleştirilen kavlak düşürme faaliyetinin yeterliliğini en fazla yarı yarıya olacak şekilde olumsuz etkileyecektir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.137'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P(Kavlak\ düşürme\ mak._{Yeterli} \mid Jeolojik\ yapı_{Kırıklı}, Kavlak\ kontrol_{Yetersiz}) &= 0{,}5 \\ P(Kavlak\ düşürme\ mak._{Yetersiz} \mid Jeolojik\ yapı_{Kırıklı}, Kavlak\ kontrol_{Yetersiz}) &= 0{,}5 \end{aligned} \quad (5.137)$$

Diğer durum sorgulamaları:

- Kavlak düşürme faaliyeti için sivriç yerine motorlu bir ekipman kullanılıyorken, jeolojik olarak sağlam bir bölgede kavlak düşürmeden sorumlu çalışanın kavlak kontrolünü yetersiz yapması durumunda, kavlak düşürme faaliyetinin yeterliliği hakkında olasılıksal olarak ne söylenebilir?

Cevap: Kavlak kontrolünün yeterli düzeyde sağlanamamasına rağmen, jeolojik yapının sağlam olması ve kavlak düşürmek için kullanılan ekipmanın motor gücünden yararlanması, kavlak düşürme yeterliliğini 0,7 olasılıkla sağlayacaktır.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.138'de verildiği gibidir.

$$\begin{aligned} P\big(Kavlak\ düşürme\ mak._{Yeterli} \mid Jeolojik\ yapı_{Sağlam}, Kavlak\ kontrol_{Yetersiz}\big) &= 0{,}7 \\ P\big(Kavlak\ düşürme\ mak._{Yetersiz} \mid Jeolojik\ yapı_{Sağlam}, Kavlak\ kontrol_{Yetersiz}\big) &= 0{,}3 \end{aligned} \quad (5.138)$$

- Kavlak düşürme faaliyeti için motorlu bir ekipmanı kullanan ve yeterli düzeyde kavlak kontrolü yapmış bir çalışan, jeolojik yapının kırıklı olduğu bir bölgede, kavlak düşürme yeterliliğini hangi olasılıkla yeterince sağlayabilir?

Cevap: Jeolojik bölge kırıklı da olsa, kavlak kontrolünün yeterli düzeyde sağlanması, kavlak makinesinin de kullanımı ile birlikte, 0,9 olasılıkla yeterli düzeyde kavlak düşürmenin sağlanabileceğini gösterir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.139'da verildiği gibidir.

$$P(Kavlak\ düşürme\ mak._{Yeterli}\ |Jeolojik\ yapı_{Kırıklı}, Kavlak\ kontrol_{Yeterli}) = 0{,}9$$
$$P(Kavlak\ düşürme\ mak._{Yetersiz}\ |Jeolojik\ yapı_{Kırıklı}, Kavlak\ kontrol_{Yeterli}) = 0{,}1 \quad (5.139)$$

"Kavlak alma makinesi ile kavlak düşürme" olayının jeolojik yapı ve kavlak kontrolü unsuruna bağlı şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.69'da verildiği gibidir.

Çizelge 5.69 : 'Kavlak düşürme" faaliyeti için önerilen ekipman ve mevcut kullanımdaki yönteme bağlı şartlı olasılık tabloları.

Mekanik Kavlak Düşürme Kavlak Alma Makinesi Operatörlü Mekanizasyon (Önerilen ekipman)					Kavlak Düşürme (Mevcut Manuel Yöntem)				
Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları				Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Jeolojik yapı	Sağlam		Kırıklı		Jeolojik yapı	Sağlam		Kırıklı	
Kavlak kontrol	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz	Kavlak kontrol	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Yeterli	0,99	0,7	0,9	0,5	Yeterli	0,95	0,5	0,75	0,1
Yetersiz	0,01	0,3	0,1	0,5	Yetersiz	0,05	0,5	0,25	0,9

5.3.8.5 Risk kontrol V: ana faaliyet ekipmanı – aynada uzaktan kumandalı kepçe kullanımı

Yeraltı madenciliğinde ayna, ocak içerisinde ilerlemenin yapıldığı bölgedir ve ayna faaliyeti de patlatma sonrası gevşeyip dökülen malzemenin kaldırılması ve yüklenmesi faaliyetidir. Ayna bölgesi yeraltı kepçesi olarak ifade edilen LHD kazıyıcılar ile çalışmak için uygun bir yerdeyse, patlatma sonrası gevşeyen ve dökülen malzeme, yeraltı kepçeleri ile vagonlara doldurulur. Ayna bölgesi, yeraltı kepçelerinin çalışabilmesi için uygun bir bölgede değilse, dökülmüş malzeme ayna işçisi tarafından kürekle el arabalarına ve vagonlara doldurulur. Bu iki aracın haricinde, ayna faaliyetinin uzaktan kumandalı yeraltı kepçesi ile gerçekleştirilmesi de mümkündür. Yeraltı madenciliğinin özellikle tehlikeli operasyonlarında kullanılması tercih edilebilir.

Ayna faaliyetinin uzaktan kontrol edilen yeraltı kepçeleri ile yönetilmesi durumunda, operatörün araca olan hakimiyeti azalacağı için ayna faaliyeti sürecinin %30 daha uzun olması beklenebilir. Mevcut düzendeki yeraltı kepçe operatörünün ve uzaktan kontrol edilen kepçe operatörünün maruz kaldığı kazalar, etkilenme dereceleri ve risk-etki ağırlıkları Çizelge 5.70'de verilmiştir:

Çizelge 5.70 : Ayna faaliyeti çalışanının mevcuttaki ve önerilen ekipmana bağlı risk-etki alanı içinde bulunma seviyeleri ve risk-etki ağırlıkları.

İstenmeyen Olay	Operatörlü Mekanizasyon LHD (Mevcut ekipman)	Risk-etki Ağırlığı	Uzaktan Kontrol Edilen LHD (Uzaktan kumandalı mekanizasyon-Önerilen ekipman)	Risk-etki Ağırlığı
Akciğer rahatsızlığı	U	0,0145	RU	0,0055
Patlamadan etkilenme	U	0,0145	RU	0,0055
Ekipman Yaralanması	-	0	-	0
Gaz sızıntısı-Su baskını	U	0,0145	RU	0,0055
Kavlak Düşmesi	-	0	RU	0,0055
Fiziksel Zorlanma	-	0	-	0
Düşme	-	0	-	0
Göçük	D	0,0602	U	0,0139
Yeraltı Kepçesi Devrilmesi	D	0,0602	U	0,0139
Aracın Çalışana Çarpması	D	0	D	0,0578
Çalışanın üzerine malzeme düşmesi	-	0	-	0
Vagon Sebepli sıkışma	-	0	-	0
Kafes boşluğuna düşme	-	0	-	0
Kafes Düşmesi	-	0	-	0
Kafesin tavana çarpması	-	0	-	0

5.3.8.6 Risk kontrol VI: ana faaliyet ekipmanı – nakliyat için lokomotif kullanımı

Yeraltı madenciliğinin yatay taşımacılığının vagonlarla sağlanması yerine lokomotifle sağlanmasının, yeraltı madenciliğinin İSG şartlarının geliştirilmesine yönelik en fazla katkıda bulunacak risk kontrol seçeneği olacağı düşünülebilir.

Madenciliğin en zorlu faaliyetlerinden olan vagon kullanımının yerini lokomotiflere bırakmasının, varsayım olmasına rağmen nakliyat faaliyetini %50 kısaltacağı öngörülmüştür. Lokomotifin maden içinde her noktaya ulaşım sağlayamaması söz konusu olabileceğinden, yeraltı kepçeleri ile entegre çalışılmasını gerektirecektir. Nakliyat için lokomotif kullanılması durumunda, lokomotif operatörünün etki altında olduğu kazalar, etkilenme dereceleri ile birlikte Çizelge 5.71'de verilmiştir.

5.3.8.7 Risk kontrol VII: ara olay değişkeni–otomatik karakol kapısı kullanımı

Yeraltı madeninde, kafes boşluğuna bir şey düşmemesi için her katta karakol kapısı adı verilen bir güvenlik kapısı vardır. Bu kapı çalışan tarafından kapanır ve açılır. Eğer bu güvenlik kapısı, kafesin katta olmadığı bir zamanda açık kalmışsa, kuyudan insan ya da kafese yüklenmek üzere bekleyen vagonların düşmesi söz konusu olabilir. Karakol kapısının, sensörlü kontrol yeteneği olan bir düzenekle kafes kata gelip durduktan sonra otomatik olarak açılması, vagonun kafese yerleştirildiğini otomatik olarak anlayıp, çalışanın güvenli bölgeye geçtiğinin doğrulanmasından sonra otomatik

olarak kapatılmasını sağlayabilir. Sürecin insan performansından bağımsız bir şekilde sürdürülmesi, maden güvenliğini arttıran bir unsur olarak değerlendirilir. Kapının açık ya da kapalı olmasının, uygulanan bakımla ilişkili şartlı olasılık değerlerine dair sorgulaması yapılmıştır.

Çizelge 5.71 : Nakliyat çalışanının mevcuttaki ve önerilen ekipmana bağlı risk-etki alanı içinde bulunma seviyeleri ve risk-etki ağırlıkları.

İstenmeyen Olay	Vagon Kullanımı (Mevcut ekipman)	Risk-etki Ağırlığı	Lokomotif (Operatörlü Mekanizasyon - Önerilen ekipman)	Risk-etki Ağırlığı
Akciğer rahatsızlığı	U	0,0362	U	0,0348
Patlamadan etkilenme	RU	0,0143	RU	0,0137
Ekipman Yaralanması	D	0,1506	-	0
Gaz sızıntısı-Su baskını	RU	0,0143	RU	0,0137
Kavlak Düşmesi	U	0,0362	-	0
Fiziksel Zorlanma	D	0,1506	-	0
Düşme	D	0,1506	-	0
Göçük	U	0,0362	RU	0,0137
Yeraltı Kepçesi Devrilmesi	U	0,0362	-	0
Aracın Çalışana Çarpması	D	0,1506	-	0
Çalışanın üzerine malzeme düşmesi	D	0,1506	-	0
Vagon Sebepli sıkışma	D	0,1506	-	0
Kafes boşluğuna düşme	-	0,0143	-	0
Kafes Düşmesi	-	0,0362	-	0
Kafesin tavana çarpması	-	0	-	0

En iyi senaryo sorgulaması:

- İlgili İSG eğitimlerine hâkim bir çalışan tarafından kullanılan otomatik karakol kapısının, bakımlarının da gerektiği sıklıkla ve kalitede sağlanması durumunda karakol kapısının yanlış zamanlarda açık kalma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Sensörlü bir sistemle çalışan bir kapı olduğu için elektronik ve mekanik bir arıza olmadığı sürece olumsuz bir durumla karşılaşılma ihtimali bilinmeyen bir nedenle ilişkili olarak bırakılan olumsuzluk payı ile birlikte 0,99 olarak belirlenir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.140'da verildiği gibidir.

$$P\left(Karakol\ kapısı._{Kapalı} \mid Bakım_{Yeterli}\right) = 0{,}99$$
$$P\left(Karakol\ kapısı._{Açık} \mid Bakım_{Yeterli}\right) = 0{,}01 \quad (5.140)$$

En kötü senaryo sorgulaması:

- Otomatik kapının, bakımlarının gerektiği sıklıkla ve kalitede sağlanmaması durumunda karakol kapısının yanlış zamanlarda açık kalma ihtimali için ne söylenebilir?

Cevap: Sensörlü bir sistemle çalışan bir kapı olduğu için elektronik ve mekanik bir arıza olduğunda sistemin kendini kilitleyerek süreci koruma altına alabilme yeteneği varsayılarak, olumsuz bir durumla karşılaşılma ihtimalini 0,3 olarak kabul etmek yerindedir.

Çıkarım: İlişkili olasılık değerleri denklem 5.141'de verildiği gibidir.

$$P\left(Karakol\ kapısı._{Kapalı} \mid Bakım_{Yetersiz}\right) = 0{,}7$$
$$P\left(Karakol\ kapısı._{Açık} \mid Bakım_{Yetersiz}\right) = 0{,}3 \quad (5.141)$$

Otomatik karakol kapısının nedenlerine bağlı şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.72'deki gibi belirtilebilir:

Çizelge 5.72 : 'Karakol kapısı" olayı düğümü için önerilen ekipman ve mevcut kullanımdaki yönteme bağlı şartlı olasılık tabloları.

Otomatik Karakol Kapısı Kontrol Bazlı Otomasyon (Önerilen ekipman)			Karakol Kapısı (Mevcut Manuel Yöntem)				
Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları		Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Bakım	Yeterli	Yetersiz	İSG Eğitim	Yeterli		Yetersiz	
			Çalışan dikkati	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Yeterli	0,99	0,7	Yeterli	0,999	0,9	0,8	0,5
Yetersiz	0,01	0,3	Yetersiz	0,001	0,1	0,2	0,5

5.3.8.8 Risk kontrol VIII: ana faaliyet ekipmanı – otomatik oluk yükleyici kullanımı

Çalışma kapsamında, madenin bulunduğu kattan, kafesin bulunduğu katlara ulaştırılması için oluklardan dökülen malzemenin kafes katında bulunan oluk ağızlarında vagonlara yüklenmesi, oluk yükleme faaliyeti olarak ele alınmıştır. Oluk yüklemeden sorumlu çalışan, yerçekimi kuvveti aracılığıyla üst katlardan gelen malzemeyi, vagona dolana kadar yükler ve vagon dolduktan sonra da oluktan malzeme akışını durdurur. Oluk yükleme faaliyetinin, kontrol bazlı otomasyon eklentisi ile desteklenmiş mekanize bir sistemle sürdürülmesi sağlanabilir. Oluğa üst katlardan boşaltılan malzemelerin vagonlara otomatik olarak uygun miktarlarda doldurulması ve oluk ağzının yükleme gerçekleşince otomatik olarak kapatılması halinde operatör yalnızca faaliyetin kontrolünden sorumlu olacaktır. Oluk yükleme için otomatik oluk yükleyicilerin kullanılması durumunda, sorumlu çalışanın etki altında kaldığı kazalar, etkilenme dereceleri ile birlikte Çizelge 5.73'te verilmiştir:

Çizelge 5.73 : Oluk yükleme faaliyeti sorumlu çalışanının mevcuttaki ve önerilen ekipmana bağlı risk-etki alanı içinde bulunma seviyeleri ve risk-etki ağırlıkları.

İstenmeyen Olay	Manuel (Mevcut Yöntem)	Risk-etki Ağırlığı	Otomatik Oluk Yükleyici (Kontrol Bazlı Otomasyon ile Desteklenmiş Operatörlü Mekanizasyon -Önerilen ekipman)	Risk-etki Ağırlığı
Akciğer rahatsızlığı	D	0,748	U	0,0116
Patlamadan etkilenme	-	0	-	0
Ekipman Yaralanması	D	0,748	-	0
Gaz sızıntısı-Su baskını	RU	0,071	RU	0,0046
Kavlak Düşmesi	RU	0,071	RU	0,0046
Fiziksel Zorlanma	D	0,748	-	0
Düşme	U	0,18	-	0
Göçük	RU	0,071	RU	0,0046
Yeraltı Kepçesi Devrilmesi	-	0	-	0
Aracın Çalışana Çarpması	-	0	-	0
Çalışanın üzerine malzeme düşmesi	D	0,748	-	0
Vagon Sebepli sıkışma	D	0,748	U	0,0116
Kafes boşluğuna düşme	-	0	-	0
Kafes Düşmesi	-	0,748	-	0
Kafesin tavana çarpması	-	0	-	0

5.3.8.9 Risk kontrol IX: ana faaliyet ekipmanı – otomatik kafes yükleyici

Yeraltı madenciliği taşımacılığı kapsamındaki vagonların kafeslere yüklenmesi faaliyetinin emek-yoğun bir şekilde sürdürülmesi yerine, kumanda ile yönetilen bir mekanize sistemle gerçekleştirilmesi, ağa risk kontrol seçeneği olarak eklenmiştir. İçi malzeme dolu ağır vagonların kafese itilmesi ve yerleştirilmesi sırasında, sorumlu çalışan çok ciddi fiziksel yaralanmalara maruz kalabilmekteyken, söz konusu faaliyetin kumanda ile yönetilen temel bir mekanize sistemle gerçekleştirilmesi halinde vagoncu manuel faaliyetlerden doğan kaza risklerine maruz kalmayacaktır.

Kafes yükleme için kontrol bazlı otomasyona sahip bir sistemin kullanılması durumunda, sorumlu çalışanın etki altında kalacağı olaylar, etkilenme dereceleri ve risk etki ağırlıkları ile birlikte Çizelge 5.74'de verilmiştir.

5.3.8.10 Risk kontrol X: ana faaliyet ekipmanı - otomatik kafes nakliyatı

Kafes nakliyatı, mevcut sistemde tamamen operatör tarafından yürütüldüğü için, operatör hatalarına elverişlidir. Çalışma kapsamında, nakliyat süresince operatör kumanda hatası sebebiyle, kafes düşmesi ve kafesin tavan çarpması kazalarının olabilirliği ele alınmıştır. Vinç sisteminin, operatörün olası kumanda hatalarını ortadan kaldıracak şekilde diğer bir deyişle otomasyon desteği ile yönetilmesi durumunda

kafes düşmesi ve kafesin tavana çarpması kazalarına olan yansımaları aşağıdaki gibi ele alınmıştır.

Çizelge 5.74 : Kafes yükleme faaliyeti sorumlu çalışanının mevcuttaki ve önerilen ekipmana bağlı risk-etki alanı içinde bulunma seviyeleri ve risk-etki ağırlıkları.

İstenmeyen Olay	Manuel (Mevcut Yöntem)	Risk-etki Ağırlığı	Otomatik Kafes Yükleyici (Kontrol Bazlı Otomasyon ile Dest. Operatörlü Mek. -Önerilen ekipman)	Risk-etki Ağırlığı
Akciğer rahatsızlığı	RU	0,0019	RU	0,0018
Patlamadan etkilenme	-	0	-	0
Ekipman Yaralanması	U	0,0048	-	0
Gaz sızıntısı-Su baskını	RU	0,0019	RU	0,0018
Kavlak Düşmesi	RU	0,0019	RU	0,0018
Fiziksel Zorlanma	D	0,0201	-	0
Düşme	U	0,0048	-	0
Göçük	RU	0,0019	RU	0,0018
Yeraltı Kepçesi Devrilmesi	-	0	-	0
Aracın Çalışana Çarpması	D	0,0201	U	0,00464
Çalışanın üzerine malzeme düşmesi	D	0,0201	RU	0,0018
Vagon Sebepli sıkışma	D	0,0201	RU	0,00183
Kafes boşluğuna düşme	D	0,0201	U	0,00464
Kafes Düşmesi	D	0,0201	U	0,00464
Kafesin tavana çarpması	D	0,0201	U	0,00464

Otomatik kafes nakliyat sisteminin kafes düşmesi olayına etkisi

Kafes düşmesi kazasının operatörle ilişkili nedeni ele alındığında, hareket etmesi ve durması tamamen vinç operatörünün kontrolünde olan kafes hareketlerinin, ağa risk kontrol seçeneği olarak eklenen otomasyon sistem desteği ile sağlanması ele alınmıştır. Bu durumda, kafes nakliyat sisteminde operatör kaynaklı olası kazaların önüne geçilmiş olacaktır.

Diğer bir deyişle karakol kapıları kapanmamışsa vinci hareket ettirmeyecek ve hem katlardaki kafes çalışanının hem de vinç operatörünün ancak ortak komutları ile vincin kumanda edilmesini sağlayacak bir kontrol temelli otomasyon sistemi desteğinden yararlanılması mümkündür. Otomatik sağlanan kafes nakliyatı ile operatör kaynaklı olası kazaların önüne de geçilmiş olacaktır.

Otomatik sağlanan kafes nakliyatı ile kafes düşmesi düğümünün şartlı olasılık tablosu uzman sorgulamalarına gerek kalmadan düzenlenebilecektir. Şekil 5.27'de görüldüğü gibi mevcut düzen incelemesinde var olan operatör kaynaklı kafes düşmesi düğümü, Şekil 5.32'de sunulmuş olan Bayes ağında elektronik kaynaklı kafes düşmesi düğümüne dönüşmüştür.

Kafes düşmesi olayı için şartlı olasılık değerlerinin güncellenmiş değerleri Çizelge 5.75'te verilmiştir:

Çizelge 5.75 : Kafes nakliyatı faaliyeti için önerilen ekipman kullanımı ile "kafes düşmesi" olayı şartlı olasılık tablosu.

Otomatik Kafes Nakliyat Kontrol Bazlı Otomasyon (Önerilen ekipman) Kafes Düşmesi Olayı								
Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları							
Halat kaynaklı	Hayır				Evet			
Mekanik arıza	Hayır		Evet		Hayır		Evet	
Elektronik kaynaklı	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Hayır	Evet
Hayır	1	0	0	1	0	1	1	1
Evet	0	1	1	0	1	0	0	0

Ortaya çıkan elektronik hata kaynaklı kafes düşme olayı ile operatör kaynaklı kafes düşmesi olaylarının nedenlerine bağlı olasılık çıkarımları Çizelge 5.76'da bir arada gösterilmiştir.

Çizelge 5.76 : Kafes nakliyatı faaliyeti için önerilen ekipmanın kullanımındaki elektronik hata kaynaklı kafes düşmesi değişkenine bağlı şartlı olasılık tabloları ve mevcut durumdaki karşılığı.

Otomatik Kafes Nakliyat Kontrol Bazlı Otomasyon (Önerilen ekipman) Elektronik Hata Kaynaklı Kafes Düşmesi					Operatörlü Vinç Sistemi (Mevcut operatörlü mekanizasyon yöntemi) Operatör Kaynaklı Kafes Düşmesi				
Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları				Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Elektronik arıza	Hayır		Evet		Operatör kumanda hatası	Hayır		Evet	
Otomatik fren sistemi	Çalışıyor	Çalışmıyor	Çalışıyor	Çalışmıyor	Otomatik fren sistemi	Çalışıyor	Çalışmıyor	Çalışıyor	Çalışmıyor
Hayır	1	1	1	0	Hayır	1	1	1	0
Evet	0	0	0	1	Evet	0	0	0	1

Otomatik kafes nakliyatı sağlayacak risk kontrol seçeneği ile elektronik sistemle çalışan bir kafes düzeneğinde meydana gelebilecek bir 'elektronik arıza', mevcut sistemdeki operatörlü vinç sisteminde 'operatör kumanda hatası' olayı yerine ağa dahil olmuştur (Şekil 5.32 ve Çizelge 5.76). Değişen bu değişken sebepli ebeveyn olaya şartlı olasılık olarak bir değişme yansımada da zincir ilişkisi ile ebeveyn değişkene olasılık değişiklikleri yansıyacaktır. Elektronik arıza ve gerçekleşme nedeni olarak belirlenen bakım unsuru ile arasındaki ilişkisini gösterir şartlı olasılık tablosu, operatör kumanda hatasına ilişkin şartlı olasılık tablosu ile birlikte Çizelge 5.77'de sunulmuştur:

Çizelge 5.77 : Kafes nakliyatı faaliyeti için önerilen ekipman ve mevcut kullanımdaki değişkene bağlı şartlı olasılık tabloları**.**

Otomatik Kafes Nakliyat Kontrol Bazlı Otomasyon (Önerilen ekipman) Elektronik Arıza Olayı			Operatörlü Vinç Sistemi (Mevcut operatörlü mekanizasyon yöntemi) Operatör Kumanda Hatası				
Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları		Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Bakım	Yeterli	Yetersiz	İSG Eğitim	Yeterli		Yetersiz	
			İSG Denetim	Yeterli	Yetersiz	Yeterli	Yetersiz
Yeterli	0,99	0,5	Yeterli	0,99	0,9	0,7	0,5
Yetersiz	0,01	0,5	Yetersiz	0,01	0,1	0,3	0,5

Otomatik kafes nakliyat sisteminin kafesin tavana çarpması olayına etkisi

Kafes nakliyatı için yapılan ekipman önerisinin, kafes düşmesi olayına yaptığı etkinin benzeri kafesin tavana çarpması olayı için de geçerlidir. Buna bağlı olarak kafesin tavana çarpması olayının mevcut sistem ve öneri sistemindeki ilişkili şartlı olasılık değerleri Çizelge 5.78'de verilmiştir. Olasılık değerlerinin her iki tablo için de aynı olmasının nedeninin, neden olarak belirtilen olayların birbirlerine "VEYA mantık kapısı" ile bağlı olması ve her iki olayın da bir arada meydana gelme olasılığının olmamasıdır.

Çizelge 5.78 : Kafes nakliyatı faaliyeti için önerilen ekipman ve mevcut kullanımdaki "kafesin tavana çarpması" olayı şartlı olasılık tabloları.

Otomatik Kafes Nakliyat Kontrol Bazlı Otomasyon (Önerilen ekipman) Kafesin Tavana Çarpması					Operatörlü Vinç Sistemi (Mevcut operatörlü mekanizasyon yöntemi) Kafesin Tavana Çarpması				
Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları				Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Motor kaynaklı çarpma	Hayır		Evet		Motor kaynaklı çarpma	Hayır		Evet	
Elektronik hata kaynaklı	Hayır	Evet	Hayır	Evet	Operatör kaynaklı çarpma	Hayır	Evet	Hayır	Evet
Hayır	1	0	0	1	Hayır	1	0	0	1
Evet	0	1	1	0	Evet	0	1	1	0

Ortaya çıkan elektronik hata kaynaklı çarpma olayı ile var olan operatör kaynaklı çarpma olaylarına dair olasılık çıkarımları da Çizelge 5.79'da gösterilmiştir. Olasılık değerlerinin her iki tablo için de aynı olmasının nedeninin, neden değişkenlerin birbirlerine "VE mantık kapısı" ile bağlı olması ve tavan durdurma mekanizmasının her iki olay için de önleyici değişken olmasıdır.

Çizelge 5.79 : Kafes nakliyatı faaliyeti için önerilen ekipman kullanımındaki "elektronik hata kaynaklı çarpma" olayı şartlı olasılık tabloları ve mevcut durum karşılığı

Otomatik Kafes Nakliyat Kontrol Bazlı Otomasyon (Önerilen ekipman) Elektronik Hata Kaynaklı Kafes Çarpması					Operatörlü Vinç Sistemi (Mevcut operatörlü mekanizasyon yöntemi) Operatör Kaynaklı Çarpma				
Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları				Ebeveyn düğümler	Ebeveyn düğümlerin farklı durumları			
Elektronik arıza	Hayır		Evet		Operatör kumanda hatası	Hayır		Evet	
Tavan durdurma mekanizması	Çalışıyor	Çalışmıyor	Çalışıyor	Çalışmıyor	Tavan durdurma mekanizması	Çalışıyor	Çalışmıyor	Çalışıyor	Çalışmıyor
Hayır	1	1	1	0	Hayır	1	1	1	0
Evet	0	0	0	1	Evet	0	0	0	1

Kafes yükleme için kontrol bazlı otomasyona sahip bir sistemin kullanılması durumunda, sorumlu çalışanın etki altında kalacağı olaylar, etkilenme dereceleri ve risk etki ağırlıkları da Çizelge 5.80'de verilmiştir:

Çizelge 5.80 : Kafes nakliyat faaliyeti sorumlu çalışanının mevcuttaki ve önerilen ekipmana bağlı **r**isk-etki alanı içinde bulunma seviyeleri ile risk-etki ağırlıkları.

İstenmeyen Olay	Manuel (Mevcut Yöntem)	Risk-etki Ağırlığı	Otomatik Kafes Yükleyici (Kontrol Bazlı Otomasyon ile Dest. Op. Mek. -Önerilen ekipman)	Risk-etki Ağırlığı
Akciğer rahatsızlığı	-	0	-	0
Patlamadan etkilenme	-	0	-	0
Ekipman Yaralanması	-	0	-	0
Gaz sızıntısı-Su baskını	-	0	-	0
Kavlak Düşmesi	-	0	-	0
Fiziksel Zorlanma	-	0	-	0
Düşme	-	0	-	0
Göçük	-	0	-	0
Yeraltı Kepçesi Devrilmesi	-	0	-	0
Aracın Çalışana Çarpması	-	0	-	0
Çalışanın üzerine malzeme düşmesi	-	0	-	0
Vagon Sebepli sıkışma	-	0	-	0
Kafes boşluğuna düşme	-	0	-	0
Kafes Düşmesi	-	0	-	0
Kafesin tavana çarpması	D	0,1506	D	0,1445

5.3.9 Kök nedenlerin öncül (marjinal) olasılıklarının belirlenmesi

Bayes ağlarının niceliksel analizi için ebeveyni olmayan, diğer bir deyişle kendisini etkileyen başka bir değişkene sahip olmayan değişkenlere dair belirlenmesi gereken olasılık değerleridir. Diğer bir deyişle analiz kapsamındaki olayların, kök nedenden

başlayarak etki zincirinin sonunda hangi değerlere ulaşacağının ortaya çıkarılması için gereken ilk tetikleyici değerlerdir.

Kök neden öncül olasılıkları, ağ içinde ele alınan üst olayın mevcut durumunu belirlemek için ve duyarlılık analizi yapabilmek için kullanılır. Böylelikle, kök nedenlerin istenmeyen olaylara olan etkilerinin belirlenmesi ile etki zinciri içerisinde meydana gelen olayların hangi kök nedenler sebepli meydana gelebileceği öğrenilir. Kök nedenlere marjinal-öncül olasılık atamaları yapılmalıdır. Çizelge 5.81'de görüldüğü gibi çalışma kök nedenlerinin öncül olasılıkları, işletme mevcut durumunu yansıtır şekilde uzman görüşleriyle birlikte belirlenmiştir. Kök nedenlerin, doğrudan bilinemeyen ya da istatistiksel olarak erişilemeyen değerler olmaları sebebiyle, uzman görüşleri aracılığıyla belirlenmeleri sağlanmıştır.

Çizelge 5.81 : Çalışma kök nedenlerinin öncül olasılıkları.

Kök neden	Öncül Olasılıkları	Referans
Jeolojik yapı	%50 sağlam %50 kırıklı	Mevcut durum değerlendirmesi Uzman görüşü
İSG Eğitim	%50 yeterli %50 yetersiz	Mevcut durum değerlendirmesi Uzman görüşü
Madende çalışılan zemin	%50 düzgün %50 engebeli	Mevcut durum değerlendirmesi Uzman görüşü
İSG Denetim	%90 yeterli %10 yetersiz	Mevcut durum değerlendirmesi Uzman görüşü
Çalışan dikkati	%50 yeterli %50 yetersiz	Mevcut durum değerlendirmesi Uzman görüşü
İSG Planlama	%90 yeterli %10 yetersiz	Mevcut durum değerlendirmesi Uzman görüşü

Öncül olasılık değerlerine ve ağ içindeki olayların aralarındaki sebepsel ilişkilere göre, Bayes ağında incelenen olayların olasılık değerleri hesaplanabilecektir. Kök nedenlerin çeşitli durumlarına göre çeşitli senaryolar oluşturularak, ağın duyarlılık analizini yapmak, konu ile ilgili önemli tespitlere ulaşılmasını sağlayacaktır.

5.4 Bayes Ağı Analizi

Bayes ağının kurulumunun ve parametrelerinin belirlenmesinin ardından, Bayes ağı hesaplamalarının yapılması, diğer bir deyişle ağın okunabilmesi için Bayes modelinin çözümlenmesi sağlanır. Bayes ağlarının ele aldığı değişkenlerin farklı durumlarına bağlı olarak değişen risk değerlerini analiz edebilme yeteneğinden yararlanılır. Oluşturulan Bayes ağı, yeraltı krom madeni faaliyetleri süresince meydana gelebilecek istenmeyen olaylara dair mevcut durum kapsamında ve oluşturulmuş çeşitli senaryolar kapsamında ayrı ayrı değerlendirmeye alınmıştır.

5.4.1 Üst olay olasılıklarının belirlenmesi

Risk olarak tanımlanan olayları, meydana gelmesine sebep olan olaylarla birlikte ele alarak, bu olayların gerçekleşme olasılıklarını belirlemek, öncelikle hangi olaylara karşı hazırlıklı olmak gerektiği konusunda önemli bilgiler sunacaktır. Kazalara sebep olan kök nedenleri ve kazalarla olan nedensel ilişkilerini ortaya çıkarmak için oluşturulan bir Bayes ağında temel amaçlardan biri, nedenleri bilinen bir olayın meydana gelmesine yönelik olasılıksal belirlemeler yapmaktır. Ağ içindeki kök neden olmayan tüm olaylar, ilgilenilen üst olay olarak ele alınabilir. Bayes ağı kök nedenlerinin öncül olasılıkları ve diğer değişkenlerin şartlı olasılık verilerini kullanılarak ağ içindeki tüm üst olayların olasılıkları hesaplanabilir. Bu hesaplamalar, Bayes Ağları Analizi kullanımının en temel amaçlarındadır.

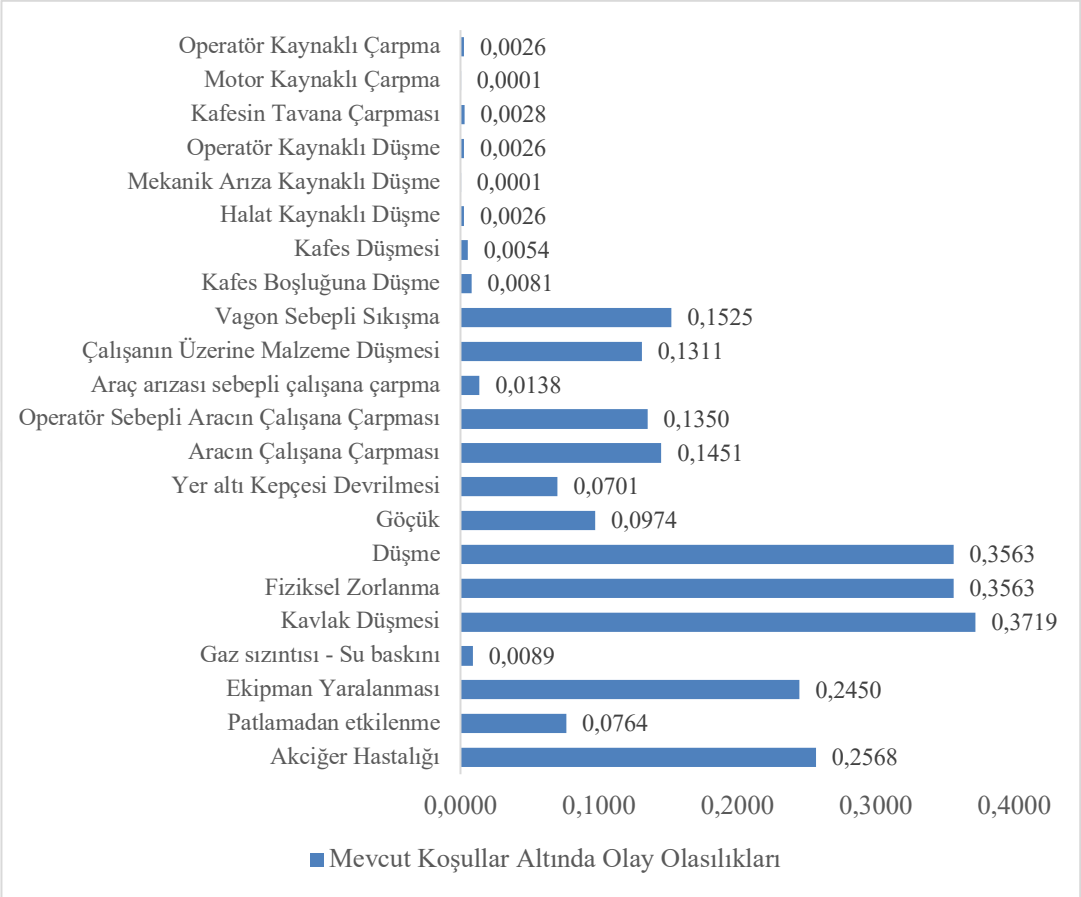
Her değişkenin yalnızca kendi soyundan gelen değişkene bağlı olasılıklarının hesaba katılarak yapıldığı hesaplamalar, ağ içerisinde ileriye doğru sorgulama olarak ele alınabilir. Kök neden dışındaki tüm olayların, mevcut durumu yansıtan gerekli öncül olasılıklar ve şartlı olasılıklar aracılığıyla meydana gelme olasılıkları belirlenir.

5.4.1.1 Mevcut durum analizi

Uzmanlar aracılığıyla belirlenen ağın kök nedenlerine dair öncül olasılıklar ve diğer değişkenlere dair şartlı olasılık tabloları ile ağ içindeki üst olayların olasılık hesaplamaları yapılarak ağın, mevcut durum için analizi yapılabilir. Bunun için öncelikle mevcut durumu yansıtan değişken durum belirlemeleri yapılır. Çizelge 5.82'de verilmiş olan kök neden öncül olasılıkları, ağ içinde ele alınan tüm ara ve üst olayların olasılık değerlerini doğrudan etkileyen değerlerdir. Bu olasılıklar, ilgili olayların ilgili değişkenlerinin belirlenmiş olasılık değerleri ile gerçekleştiğini belirtir ve dolayısıyla Bayes teorisinin uygulaması için ağ içindeki ilk aksiyon gerçekleşir.

Jeolojik yapı ve zemin koşullarının, İSG eğitim, denetim ve planlama unsurları ile çalışan dikkatini gösterir değişkenlerin Çizelge 5.82'de verildiği gibi hangi değerleri aldığının bilinmesi durumunda, üst olayların gerçekleşmesine dair hangi olasılık değerlerine ulaşılacağı, çalışmanın 3. bölümünde anlatılan bileşik olayların hesaplanması için kullanılan yöntemlerle belirlenir. Öncül olasılıklara bakıldığında, jeolojik yapı, zemin koşulları ile çalışan eğitimi ve dikkatinin yarı yarıya olumlu bir tablo sunarken, denetim ve planlama unsurlarının %90, diğer bir deyişle neredeyse tam etkin bir şekilde sağlanmasının normal durumu yansıttığı kabul edilmiştir. Parametre

değerlerinin tamamen belirlenmiş olması ile Bayes ağı içindeki istenmeyen olayların mevcut durumu yansıtan şartlardaki gerçekleşme olasılıkları Şekil 5.34'te gösterildiği gibi bulunmuştur.



Şekil 5.34 : Yeraltı madeni çalışanlarının mevcut çalışma koşullarında risk altında bulundukları İSG ile ilişkili olaylar ve meydana gelme olasılıkları.

Şekil 5.34 incelendiğinde, mevcut durum için yaşanma ihtimali en yüksek olan olaylar, "kavlak düşmesi, düşme, fiziksel zorlanma, akciğer rahatsızlığı, ekipman yaralanması, vagon sebepli sıkışma, operatör sebepli aracın çalışana çarpması ve çalışanın üzerine malzeme düşme olayı" olarak görünmektedir. Sonuçların, istatistiksel doğrulama yapmak mümkün olmasa da geçmiş kazalara dair uzmanların çalışmanın başında sundukları sıklık ifadeleri ile karşılaştırılması mümkündür. İlişkili sıklık ifadeleri, Çizelge 5.82'de ağ analizi sonucunda ulaşılan olasılık değerleri ile birlikte sütun olarak eklenmiştir. Uzmanlar kavlak düşmesi, düşme, fiziksel zorlanma, akciğer rahatsızlığı, ekipman yaralanması kazalarının her gün rastlanan olaylar olduğu için çok sık yaşandığını, vagon sebepli sıkışma, operatör sebepli aracın çalışana çarpması ve çalışanın üzerine malzeme düşmesi kazalarını ise birkaç haftada bir yaşanan kazalar olduğu için sık yaşanan kazalar olduğunu belirtmişlerdir. Dolayısıyla sıklık

ifadelerinin, risk değerlendirmesinin mevcut koşulları altındaki olasılık bulgularıyla uyumlu olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.82 : Ağ içindeki olayların mevcut durum koşulları altında gerçekleşme olasılıkları ve uzmanların olaylar hakkında sundukları sıklık ifadeleri.

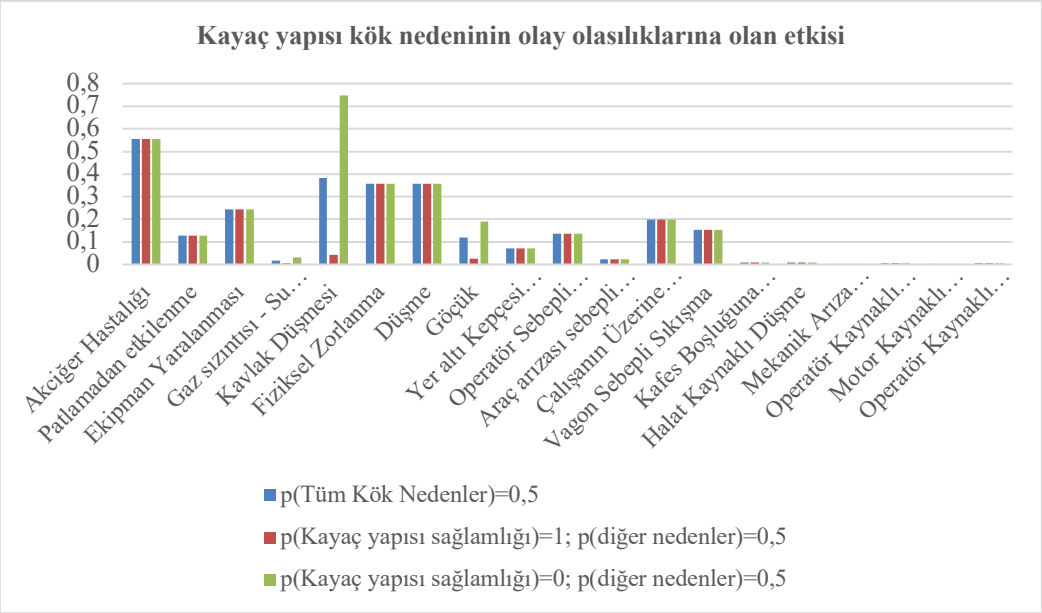
Olay	Gerçekleşme Olasılığı	Uzmanların kazalar için sıklık ifadeleri
Motor kaynaklı çarpma	0,0001	Nadir
Mekanik Arıza Kaynaklı Düşme	0,0001	Nadir
Halat Kaynaklı Düşme	0,0026	Nadir
Operatör Kaynaklı Kafes Düşmesi	0,0026	Nadir
Operatör kaynaklı kafesin tavana çarpma	0,0026	Nadir
Kafesin Tavana Çarpması	0,0028	Nadir
Kafes Düşmesi	0,0054	Nadir
Kafes Boşluğuna Düşme	0,0081	Çok seyrek
Mekanik arıza sebepli aracın çalışana çarpması	0,0138	Çok seyrek
Gaz sızıntısı - Su baskını	0,0493	Çok seyrek
Yeraltı Kepçesi Devrilmesi	0,0701	Seyrek
Patlamadan etkilenme	0,0764	Seyrek
Göçük	0,0822	Seyrek
Çalışanın Üzerine Malzeme Düşmesi	0,1311	Sık
Operatör sebepli aracın çalışana çarpması	0,1350	Sık
Aracın Çalışana Çarpması	0,1451	Sık
Vagon Sebepli Sıkışma	0,1525	Sık
Ekipman Yaralanması	0,2450	Çok sık
Akciğer rahatsızlığı	0,2568	Çok sık
Fiziksel Zorlanma	0,3563	Çok sık
Düşme	0,3563	Çok sık
Kavlak Düşmesi	0,3719	Çok sık

Sınırlı sayıda da olsa 2007-2012 kaza verileri de incelendiğinde, yeraltı madeninde kayıt altına alınmış Çizelge 5.1'de görülen toplam 71 ekipman yaralanması kazası, 14 çalışanın üzerine malzeme düşmesi kazası, 23 sıkışma ve 15 düşme kazası ve 2 solunum rahatsızlığı görülmektedir. Yalnızca iş görememeye sebep olan kazaların kayıt altına alındığı düşünüldüğünde, sınırlı sayıdaki bu kaza sayılarına bakıldığında, istatistiksel doğrulama yapmak için uygunluk sağlamasalar da analiz sonucunda çok sık yaşandığı düşünülen kazaların kısmi de olsa geçmiş yıllarda da sıklıkla yaşandığı anlaşılmaktadır.

5.4.1.2 Kök nedenlerin duyarlılık analizleri

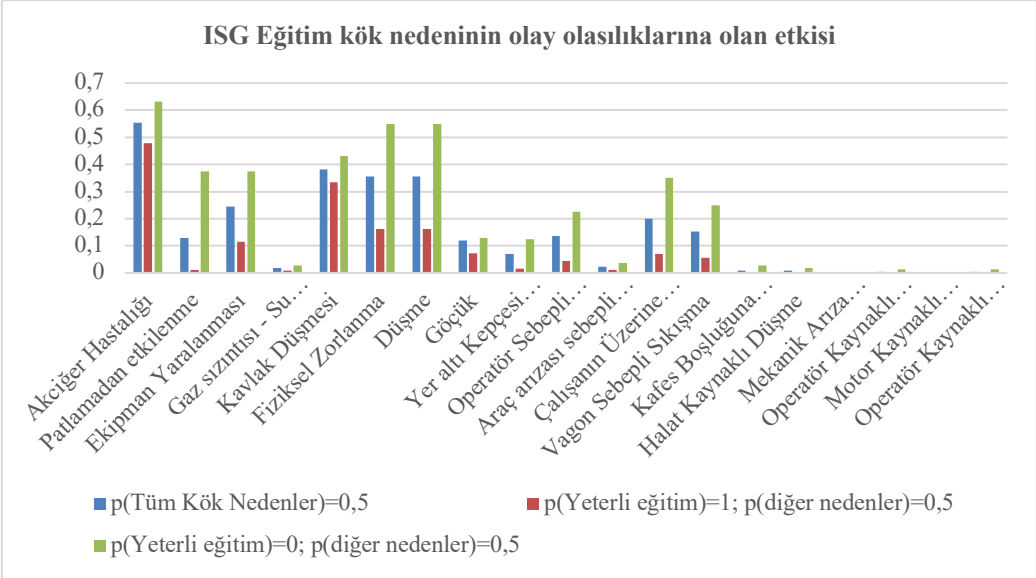
Çalışma kapsamında belirlenen her bir kök nedenin, istenmeyen olaylar üzerindeki etkisinin belirlenmesi için diğer nedenler ortalama durumu göstermek üzere, tüm kök nedenlerin sırasıyla en iyi ve en kötü durumlarına göre ağ içindeki olay olasılıkları

Bayes ağlarının yeniden hesaplanabilirlik kolaylığı ile tekrar analiz edilmiştir. Şekil 5.35, Şekil 5.36, Şekil 5.37, Şekil 5.38, Şekil 5.39 ve Şekil 5.40'ta sunulan grafikler ile her bir kök nedenin olaylar üzerindeki en önemli etkileri sunulmuştur.



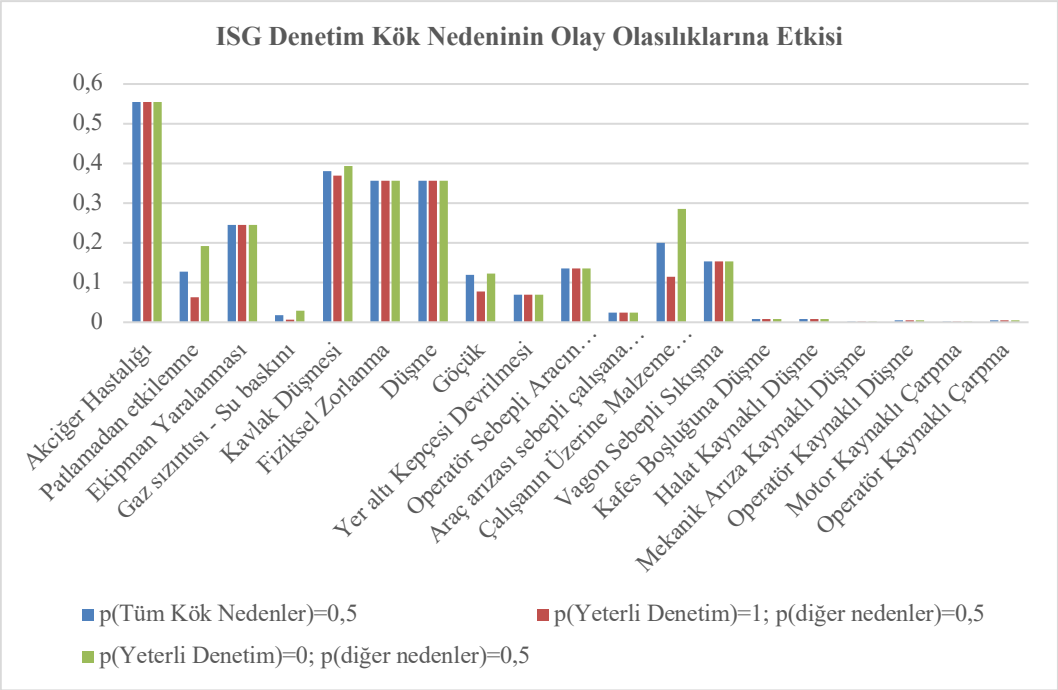
Şekil 5.35 : Kayaç yapısı kök nedeninin olay olasılıklarına etkisi.

Kayaç yapısının, üzerinde en fazla etkiye sahip olduğu olay "kavlak düşmesi" ve "göçük" olayıdır.



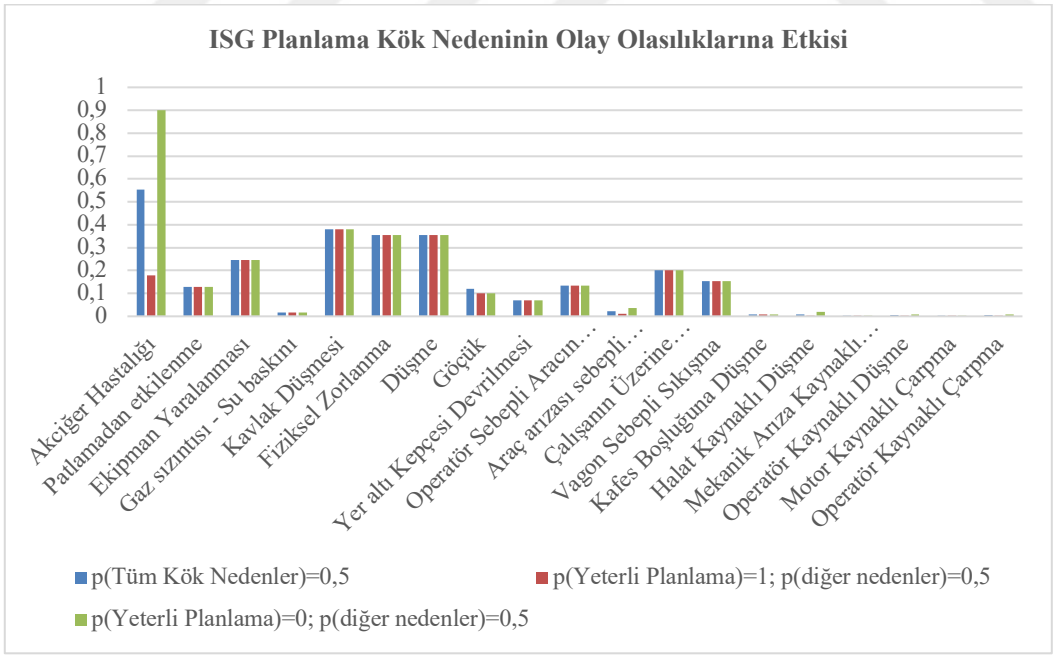
Şekil 5.36 : İSG eğitim kök nedeninin olay olasılıklarına etkisi.

Olay olasılıkları üzerinde en fazla değişkenlik yaratan İSG eğitim kök nedenidir. İSG eğitim unsurunun, üzerinde en fazla etkiye sahip olduğu olaylar "fiziksel zorlanma", "düşme", "patlamadan etkilenme" ve "ekipman yaralanması" olayıdır.



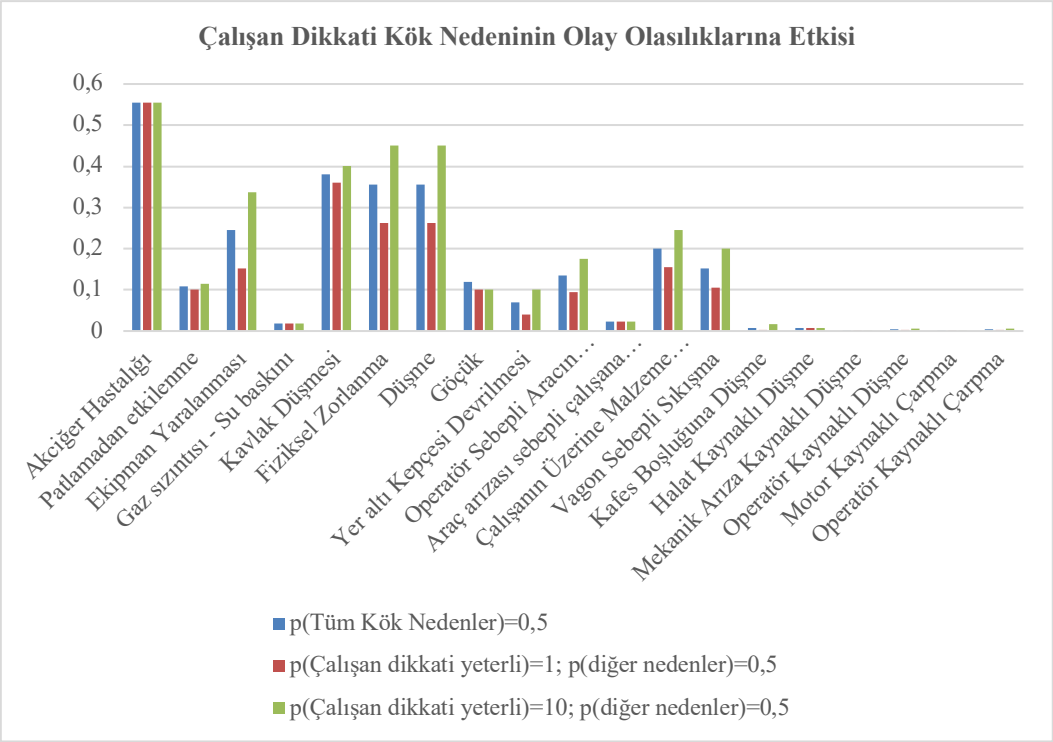
Şekil 5.37 : İSG denetim kök nedeninin olay olasılıklarına etkisi.

İSG denetim unsurunun, üzerinde en fazla etkiye sahip olduğu olaylar "çalışanın üzerine malzeme düşmesi", "patlamadan etkilenme" ve "göçük" olaylarıdır. Çünkü bu olaylar denetimle de kontrolleri sağlanan faaliyetlerle ilişkilidirler.



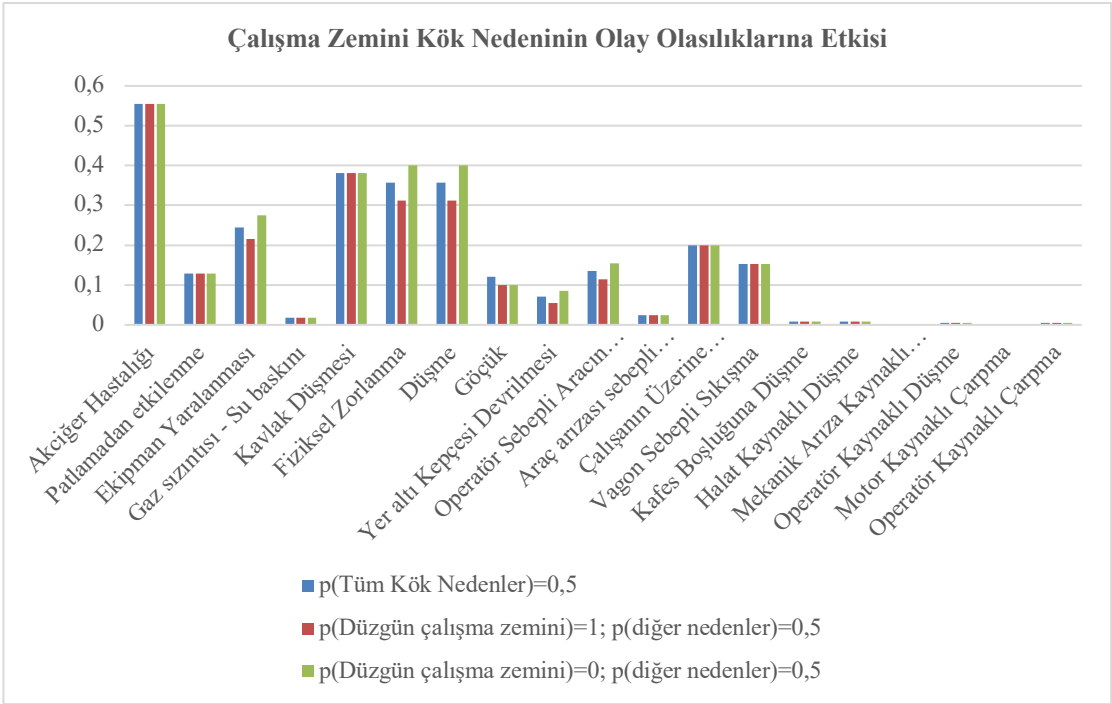
Şekil 5.38 : İSG planlama kök nedeninin olay olasılıklarına etkisi.

İSG planlama unsurunun üzerinde belirgin bir etkiye sahip olduğu olay "akciğer rahatsızlığı"dır. Çünkü akciğer rahatsızlığını önlemek için ilgili donanımların işletmede bulunması, doğrudan işletmenin İSG planlama stratejilerine bağlıdır.



Şekil 5.39 : Çalışan dikkati kök nedeninin olay olasılıklarına etkisi.

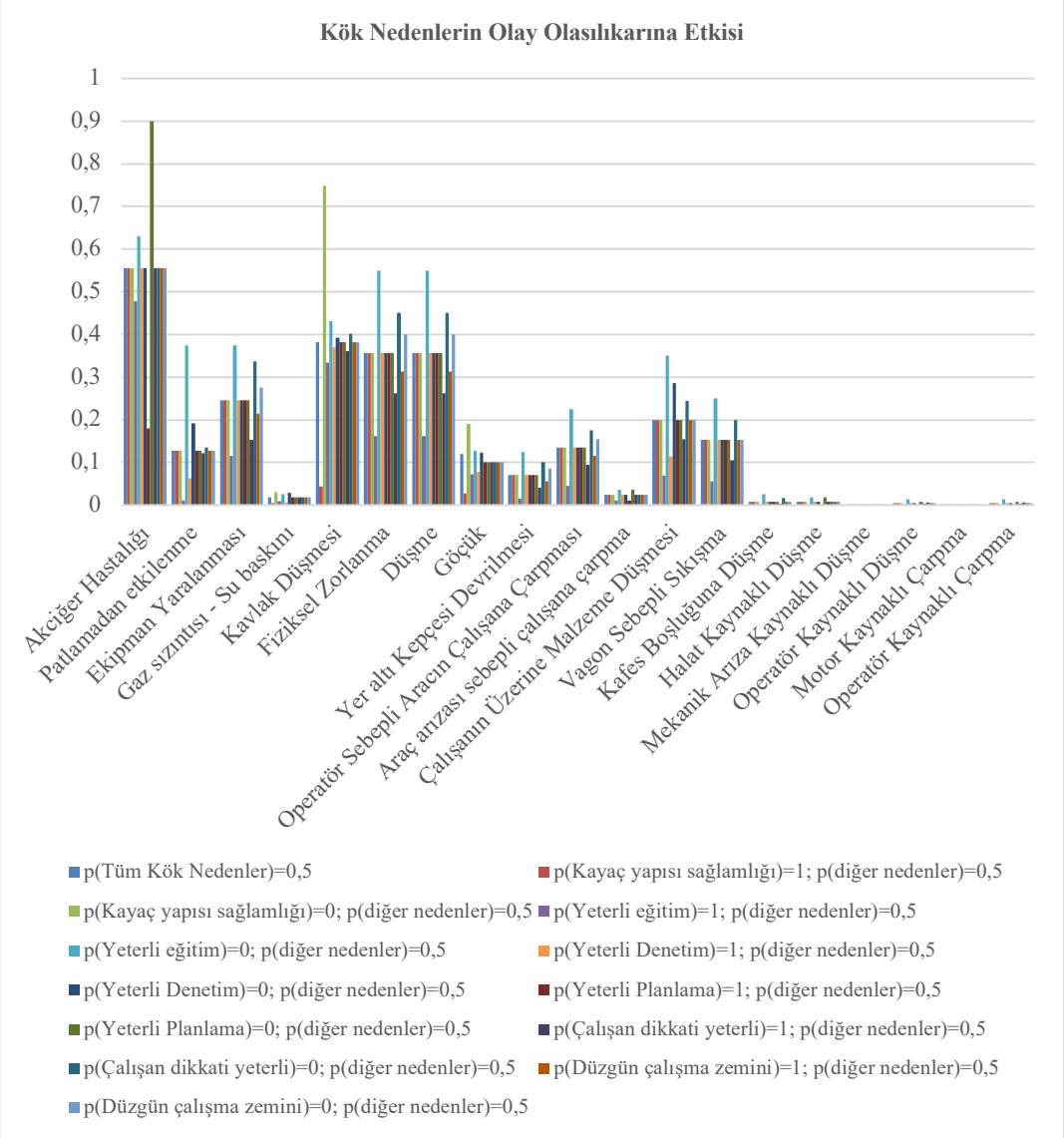
Olay olasılıkları üzerinde, İSG eğitim nedeninden sonra en fazla değişkenlik yaratan ikinci kök nedenin çalışan dikkati olduğu söylenebilir. Çalışan dikkati unsurunun üzerinde en fazla etkiye sahip olduğu olaylar "ekipman yaralanması", "fiziksel zorlanma" ve "düşme" olaylarıdır.



Şekil 5.40 : Çalışma zemini kök nedeninin olay olasılıklarına etkisi.

Çalışma zemini unsurunun üzerinde en fazla etkiye sahip olduğu olaylar "fiziksel zorlanma" ve "düşme" olaylarıdır.

Şekil 5.41'de de tüm kök nedenlerin tüm olaylar üzerindeki etkileri görülebilmektedir.



Şekil 5.41 : Bayes ağı kök nedenlerinin olay olasılıklarına etkisi.

- Akciğer rahatsızlığının en etkin nedeni "İSG planlama"dır. KKD kullanımı ve toz bastırıcı su sisteminin yönetim tarafından süreçler boyunca sağlanmış olmasıdır.
- Patlamadan etkilenme olayının en etkin nedeni "İSG eğitim"dir. Patlatmadan sorumlu çalışanın kuralları bilip uygulaması ve diğer çalışanların da bu kurallara uyum sağlayarak patlatma bölgesinde bulunmamalarıdır.

- Ekipman yaralanması, fiziksel zorlanma, düşme, yeraltı kepçesi devrilmesi, operatör sebepli aracın çalışana çarpması, çalışanın üzerine malzeme düşmesi, vagon sebepli sıkışma, kafes boşluğuna düşme, operatör kaynaklı kafesi düşmesi ve operatör kaynaklı kafes çarpması olaylarının en etkin nedeni "İSG eğitim"dir. Diğer bir deyişle çalışanın, sürdürdüğü faaliyetler ile ilgili güvenlik kurallarını bilip uygulayabilmesidir.
- Gaz sızıntısı-su baskını, kavlak düşmesi ve göçük olaylarının en etkin nedeni "kayaç yapısı"dır. Madenin yapısı gereği sahip olduğu doğal jeolojik neden, bu olayların en temel sebebidir.
- Araç arızası sebepli aracın çalışana çarpması ve halat kaynaklı düşme olayının en etkin nedeni "İSG eğitim" ve "İSG planlama"dır. Çalışanın faaliyetlerin sürdürülmesi konusundaki kuralları bilip uygulayabilmesi ve ekipmanla ilişkili bakım unsurlarının yeterli düzeyde planlanmış olmasıdır.

5.4.1.3 Kök nedenlerle ilişkili senaryo analizleri

Kök nedenlere dair genel çıkarımlar ve tanımlamalar yapabilmek için senaryolar oluşturulur. Çalışma kapsamında gerçekleştirilen risk analizinde kök nedenler, madenin içinde bulunduğu jeolojik yapı, İSG eğitim, denetim ve planlama unsurları, çalışan dikkati ve maden çalışma zemini olarak belirlenmiş ve bunlarla sınırlı tutulmuştur. Yeraltı krom madeninde meydana gelen istenmeyen olayların bu nedenlere dayandırılmasının ardından, duyarlılık analizinde daha etkin yorumlama yapabilmek için İSG eğitim, İSG denetim ve İSG planlama nedenleri "yönetimsel koşullar" olarak gruplandırılmıştır. Organizasyon kültürü, güvenlik iklimi ve yönetimsel unsurların, kurumun bu faktörlerine yansıdığı varsayılmıştır. Çünkü, çalışanlara yansıyan eğitim kalitesi ile süreçler için yapılan denetlemeler ve planlamalar yönetimin sorumluluğu ve kontrolündedir. Zaten bu faaliyetler işletmelerin güvenlik yönetimi uygulamalarıdır ve kazaların meydana gelmesiyle doğrudan ilişkili olduğu bilinir. Ayrıca yeraltı madeni çalışma zemini koşulları ile kayaç yapısı da "jeolojik şartlar" a bağlı güvenlik durumları olarak nitelendirilmiştir. Jeolojik şartlar, madenin doğası gereği kabul edilen ve değiştirilemeyen faktörler olarak kabul edilir. Bunlara ek olarak, çalışanın iş güvenliği ile ilişkili aldığı eğitimden bağımsız olan ve tamamen anlık dikkatsizlik sebebiyle istenmeyen olay yaşamasına neden olan çalışan dikkati kök nedeni de duyarlılık analizinde "insan faktörü" olarak

ele alınmıştır. Literatürdeki güvenlik tutumu, güvenlik bilgisi ve destekleyen çevre tarafından oluşmuş "güvenli olmayan davranışlar" (Mohammadfam ve diğ., 2017) değişkeni; çalışan dikkatsizliği, İSG eğitim ve denetim faktörleri kök nedenleri altında 3 önemli etken olarak çalışmaya ayrı ayrı dahil edilmiştir. Böylelikle, yönetimsel şartlar, jeolojik şartlar ve insan faktörlerine bağlı çeşitli senaryolar oluşturularak, ilgili öncül olasılıkların atanması ile faktörlerin istenmeyen olaylara olan etkilerini ortaya çıkaran Bayes ağı duyarlılık analizleri yapılabilir.

Yönetim şartları, jeolojik şartlar ve insan faktörlerine göre senaryolar oluşturulmuş ve bu senaryolara ait kök nedenlerin durumsal değerleri, Çizelge 5.83'te verilmiştir.

Çizelge 5.83 : Oluşturulan senaryolar ve kök nedenlerin ilişkili durumsal değerleri.

	Jeolojik Koşullar			İnsan Faktörleri			Yönetimsel Koşullar		
Senaryolar	En iyi	Ort	En kötü	En iyi	Ort	En kötü	En iyi	Ort	En kötü
En iyi senaryo	√			√			√		
En iyi-jeo_enkötü / En iyi senaryo altında en kötü jeolojik koşullar			√	√			√		
En iyi-insan_enkötü/ En iyi senaryo altında insan faktörünün en kötü koşulları	√					√	√		
En iyi-yönetim_enkötü/ En iyi senaryo altında en kötü yönetimsel koşullar	√			√					√
En kötü senaryo			√			√			√
En kötü-g_eniyi/ En kötü senaryo altında en iyi jeolojik koşullar	√					√			√
En kötü-insan_eniyi/ En kötü senaryo altında insan faktörünün en iyi koşulları			√	√					√
En kötü-yönetim_eniyi/ En kötü senaryo altında en iyi yönetimsel koşullar			√			√	√		
Tüm faktörler için ortalama senaryolar		√			√			√	
Ortalama-jeo_eniyi/ Ortalama durum senaryosu altında en iyi jelojik koşullar	√				√			√	
Ortalama-jeo_enkötü/ Ortalama durum senaryosu altında en kötü jelojik koşullar			√		√			√	
Ortalama-insan_eniyi / Ortalama durum senaryosu altında en iyi insan faktörü koşulları		√		√				√	
Ortalama-insan_enkötü / Ortalama durum senaryosu altında en kötü insan faktörü koşulları		√				√		√	
Ortalama-yönetim_eniyi / Ortalama durum senaryosu altında en iyi yönetim faktörü koşulları		√			√		√		
Ortalama-yönetim_enkötü/ Ortalama durum senaryosu altında en kötü yönetim faktörü koşulları		√			√				√

Oluşturulan senaryolar kapsamında analizlerin yapılabilmesi için senaryolara bağlı kök neden öncül olasılıklarının belirlenmesi gerekir. Çizelge 5.84'de senaryolara bağlı öncül olasılıklar sunulmuştur. 1 olasılık değeri koşulun en iyi durumunu yansıtan olasılık değerini verirken, 0 olasılık değeri de koşulun en kötü durumunu yansıtan olasılık değerini verir. 0,5 olasılık değeri de koşulun ne olumlu ne de olumsuz halini gösteren ortalama durumunu yansıtır. Bu bağlamda en iyi, en kötü ve ortalama durum

senaryoları ile bu senaryolara diğer koşul değişkenlerindeki tekil farklılaşmalar sırayla dahil edilerek farklı senaryolar oluşturulmuştur. Senaryolara bağlı olarak, kazaların meydana gelme olasılıklarındaki değişkenlikler incelenecek, müdahale edilmesi neredeyse imkânsız olan jeolojik unsurlarla, müdahale edilmesi mümkün yönetimsel unsurların kaza olasılıklarına olan yansımaları değerlendirilebilecektir. Diğer yandan çalışma kapsamında insan faktörü olarak ele alınmış olan çalışan dikkatsizliği faktörünün de diğer koşullara bağlı olarak, istenmeyen olayların yaşanmasındaki etkileri incelenebilecektir.

Çizelge 5.84 : Senaryolara bağlı öncül olasılıklar.

Senaryo	Jeolojik yapı (sağlam)	İSG Eğitim (yeterli)	İSG Denetim (yeterli)	İSG Planlama (yeterli)	Çalışan dikkati (yeterli)	Çalışma Zemin (düzgün)
En iyi senaryo	1	1	1	1	1	1
En iyi-jeo_enkötü	0	1	1	1	1	0
En iyi-insan_enkötü	1	1	1	1	0	1
En iyi-yönetim_enkötü	1	0	0	0	1	1
En kötü senaryo	0	0	0	0	0	0
En kötü-jeoloji_eniyi	1	0	0	0	0	1
En kötü-insan_eniyi	0	0	0	0	1	0
En kötü-yönetim_eniyi	0	1	1	1	0	0
Tüm faktörler için ortalama durum senaryoları	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Ortalama-jeo_eniyi	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1
Ortalama-jeo_enkötü	0	0,5	0,5	0,5	0,5	0
Ortalama-insan_eniyi	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5
Ortalama-insan_enkötü	0,5	0,5	0,5	0,5	0	0,5
Ortalama-yönetim_eniyi	0,5	1	1	1	0,5	0,5
Ortalama-yönetim_enkötü	0,5	0	0	0	0,5	0,5

Çizelge 5.85'de oluşturulan senaryoların en fazla beklenen ve en az beklenen olayları ile ortalama olay olasılıklarının verildiği senaryo analizi görülmektedir. Senaryoların ortalama olay olasılıklarının en kötü senaryolar dahilinde ve ortalama şartlar altında yönetimsel unsurların başarısız olması senaryosunda en kötü değerlere ulaştığı görülür. Bu durumda işletmelerde, yönetimsel unsurların istenmeyen olay yaşanmasında ne kadar etkili bir olduğu anlaşılmaktadır. Çalışma kapsamında yönetimsel unsur olarak ele alınan faktörler "İSG Eğitim, İSG Denetim ve İSG Planlama" olarak sıralanmış olup, İSG ile ilişkili düzenlemelerin sağlanmasında, planlanmasında, kritik süreçlerin kontrol edilmesinde, ekipmanların kullanılabilir olmasında ve çalışanların koşullara uygun ve güvenli bir şekilde hareket etmelerinin sağlanabilmesindeki lokomotif etkenler oldukları söylenebilir. Bir işletmenin yönetimsel faktör değişkenlerinin aldığı değerler, o işletmenin İSG ile ilişkili

konumunu büyük ölçüde belirleyebilme gücüne sahiptir. Çizelge 5.85'e göre önemli bir diğer bulgu da maksimum olasılık değerlerinin neredeyse tüm senaryolar altında oldukça yüksek değerler almış olmasıdır. Böylelikle, yeraltı madenciliği istenmeyen olaylarının konu edildiği bu çalışmada madencilikte sıklıkla yaşanan kazaların ele alındığı anlaşılmaktadır.

Çizelge 5.85 : Senaryo analizi

Senaryo	p (max)	Olay	p(min)	Olay	p(ort)
Mevcut Durum	0,3719	Kavlak düşmesi	0,0001	Kafesin motor arızası kaynaklı tavana çarpması	0,111
En iyi senaryo	0,05	Fiziksel zorlanma	0	Kafes boşluğuna düşme, Kafes boşluğuna düşme, Kafes düşmesi, Kafesin tavana çarpması	0,009
En iyi senaryo altında jeolojik yapının olumsuz olması	0,6335	Kavlak düşmesi	0	Kafes boşluğuna düşme, Kafes boşluğuna düşme, Kafes düşmesi, Kafesin tavana çarpması	0,050
En iyi senaryo altında insan faktörlerinin olumsuz olması	0,2	Fiziksel zorlanma, Düşme	0	Mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi, Kafesin motor arızası kaynaklı tavana çarpması	0,040
En iyi senaryo altında yönetimsel unsurların başarısız olması	0,9	Akciğer rahatsızlığı	0,0014	Mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi, Kafesin motor arızası kaynaklı tavana çarpması	0,161
En kötü senaryo	0,9	Akciğer rahatsızlığı	0,0014	Mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi, Kafesin motor arızası kaynaklı tavana çarpması	0,288
En kötü senaryo altında en iyi jeolojik koşullar	0,9	Akciğer rahatsızlığı	0,0014	Mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi, Kafesin motor arızası kaynaklı tavana çarpması	0,217
En kötü senaryo altında çalışan yeterli çalışan dikkati	0,9	Akciğer rahatsızlığı	0,0014	Mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi, Kafesin motor arızası kaynaklı tavana çarpması	0,230
En kötü şartlar altında yönetimsel unsurların başarılı olması	0,6775	Kavlak düşmesi	0	Mekanik arıza ve halat kopması kaynaklı kafes düşmesi, Kafesin motor arızası kaynaklı tavana çarpması	0,094
Ort. durum	0,5548	Akciğer rahatsızlığı	0,0003	Mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi, Kafesin motor arızası kaynaklı tavana çarpması	0,133
Ortalama şartlar altında jeolojik koşulların iyi olması	0,5548	Akciğer rahatsızlığı	0,0003	Mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi, Kafesin motor arızası kaynaklı tavana çarpması	0,105
Ortalama şartlar altında jeolojik koşulların kötü olması	0,7493	Kavlak düşmesi	0,0003	Mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi, Kafesin motor arızası kaynaklı tavana çarpması	0,164
Ortalama şartlar altında çalışan dikkatinin yeterli düzeyde sağlanması	0,5548	Akciğer rahatsızlığı	0,0003	Mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi, Kafesin motor arızası kaynaklı tavana çarpması	0,109
Ortalama şartlar altında çalışan dikkatinin yetersiz düzeyde sağlanması	0,5548	Akciğer rahatsızlığı	0,0003	Mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi, Kafesin motor arızası kaynaklı tavana çarpması	0,156
Ortalama şartlar altında yönetimsel unsurların başarılı olması	0,3229	Kavlak düşmesi	0	Kafes boşluğuna düşme, Kafes boşluğuna düşme, Kafes düşmesi, Kafesin tavana çarpması	0,047
Ortalama şartlar altında yönetimsel unsurların başarısız olması	0,9	Akciğer rahatsızlığı	0,0014	Mekanik arıza kaynaklı kafes düşmesi, Kafesin motor arızası kaynaklı tavana çarpması	0,222

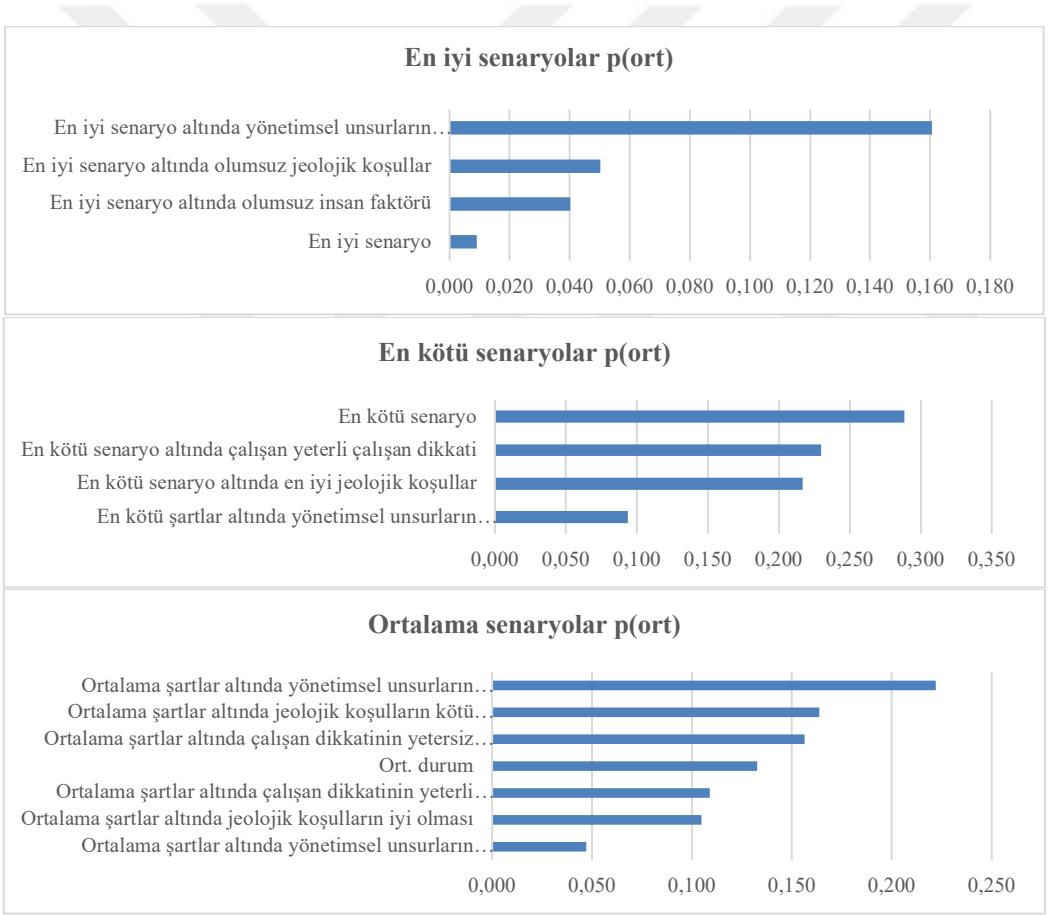
Yeraltı madeni istenmeyen olaylarının, Çizelge 5.86'da oluşturulan senaryolar altında aldıkları olasılıklar görülmektedir. Bazı olayların tüm senaryolar altında yüksek değerler aldıkları görülürken, kimi olayların da tüm senaryolar altında düşük gerçekleşme değerlerine sahip olduğu görülür. Bu durum da çalışmada ele alınan kazaların kapsamının geniş tutulmuş olmasıyla ilişkilendirilebilir.

Çizelge 5.86 : Yeraltı madeni istenmeyen olaylarının senaryolara göre gerçekleşme olasılıkları.

	Mevc. Durum	En iyi senaryo	En iyi-jeo enkötü	En iyi-insan enkötü	En iyi-yön. enkötü	En kötü senaryo	En kötü-jeoloji eniyi	En kötü-insan eniyi	En kötü-yönetim eniyi	Ort. durum	Ort-jeo eniyi	Ort-jeo enkötü	Ort-insan eniyi	Ort-insan enkötü	Ort-yön. eniyi	Ort-yön. enkötü
Akciğer rah.	0,2568	0,0100	0,0100	0,0100	0,9000	0,9000	0,9000	0,9000	0,0100	0,5548	0,5548	0,5548	0,5548	0,5548	0,0100	0,9000
Patlamadan etk.	0,0764	0,0010	0,0010	0,0055	0,4111	0,4343	0,4343	0,4111	0,0054	0,1280	0,1280	0,1280	0,1215	0,1344	0,0032	0,4227
Ekipman Yaral.	0,2450	0,0100	0,0500	0,1500	0,2500	0,5000	0,4500	0,3000	0,2500	0,2450	0,2150	0,2750	0,1525	0,3375	0,1150	0,3750
Gaz sız-Su bask	0,0493	0,0013	0,0078	0,0013	0,0125	0,0752	0,0125	0,0752	0,0078	0,0176	0,0050	0,0302	0,0176	0,0176	0,0045	0,0438
Kavlak Düşmesi	0,3719	0,0195	0,6335	0,0280	0,0563	0,8713	0,0825	0,7946	0,6775	0,3813	0,0441	0,7493	0,3611	0,4015	0,3229	0,4421
Fiziksel Zorl.	0,3563	0,0500	0,1000	0,2000	0,4000	0,7000	0,6000	0,5000	0,3000	0,3563	0,3125	0,4000	0,2625	0,4500	0,1625	0,5500
Düşme	0,3563	0,0500	0,1000	0,2000	0,4000	0,7000	0,6000	0,5000	0,3000	0,3563	0,3125	0,4000	0,2625	0,4500	0,1625	0,5500
Göçük	0,0822	0,0049	0,1202	0,0049	0,0473	0,3750	0,0473	0,3750	0,1202	0,1201	0,0270	0,2528	0,1201	0,1201	0,0542	0,1809
LHDDevr.	0,0701	0,0010	0,0100	0,0200	0,0500	0,2000	0,1500	0,1000	0,0300	0,0701	0,0553	0,0850	0,0403	0,1000	0,0153	0,1250
Ar. Çal. Çarp.	0,1451	0,0120	0,0219	0,0518	0,1854	0,3202	0,2753	0,2303	0,1016	0,1522	0,1331	0,1712	0,1141	0,1903	0,0468	0,2528
Operatör sebepli	0,1350	0,0100	0,0200	0,0500	0,1500	0,3000	0,2500	0,2000	0,1000	0,1350	0,1150	0,1550	0,0950	0,1750	0,0450	0,2250
Mek. arıza seb.	0,0138	0,0020	0,0020	0,0020	0,0505	0,0505	0,0505	0,0505	0,0020	0,0235	0,0235	0,0235	0,0235	0,0235	0,0020	0,0505
Çal.Üz.Malz.Düş	0,1311	0,0129	0,0129	0,0545	0,4500	0,5500	0,5500	0,4500	0,0545	0,1998	0,1998	0,1998	0,1547	0,2449	0,0337	0,5000
Vagon Seb. Sık.	0,1525	0,0100	0,0100	0,1000	0,2000	0,3000	0,3000	0,2000	0,1000	0,1525	0,1525	0,1525	0,1050	0,2000	0,0550	0,2500
KafesBoşl.Düşme	0,0081	0,0000	0,0000	0,0010	0,0100	0,0500	0,0500	0,0100	0,0010	0,0081	0,0081	0,0081	0,0026	0,0165	0,0003	0,0263
Kafes Düşmesi	0,0054	0,0000	0,0000	0,0001	0,0505	0,0621	0,0621	0,0505	0,0001	0,0128	0,0128	0,0128	0,0111	0,0144	0,0001	0,0563
Halat Ky.Düşme	0,0026	0,0000	0,0000	0,0000	0,0377	0,0377	0,0377	0,0377	0,0000	0,0079	0,0079	0,0079	0,0079	0,0079	0,0000	0,0377
Mek.Ar.Ky.Düşme	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0000	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0000	0,0014
Op. Kayn. Düşme	0,0026	0,0000	0,0000	0,0001	0,0125	0,0251	0,0251	0,0125	0,0001	0,0046	0,0046	0,0046	0,0029	0,0063	0,0000	0,0188
Kaf.Tavana Çarp.	0,0028	0,0000	0,0000	0,0001	0,0139	0,0264	0,0264	0,0139	0,0001	0,0050	0,0050	0,0050	0,0033	0,0066	0,0000	0,0201
Motor ky.çarpma	0,0001	0,0000	0,0000	0,0000	0,0014	0,0014	0,0014	0,0014	0,0000	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0000	0,0014
Op. ky. çarpma	0,0026	0,0000	0,0000	0,0001	0,0125	0,0251	0,0251	0,0125	0,0001	0,0046	0,0046	0,0046	0,0029	0,0063	0,0000	0,0188

Bu tablo aracılığıyla olayların, senaryolara göre duyarlılıkları incelenebilir. Senaryo analiz sonuçlarına göre; yeraltı madeni çalışanlarını en fazla tehdit eden olaylar, akciğer rahatsızlığı ve kavlak düşmesi iken, tüm senaryolara göre en az beklenen olaylar kafes düşmesi ve kafesin tavana çarpması olaylarıdır. Yeraltı madeninin çalışanlarının, gerekli önlemlerin alınmaması durumunda çok muhtemel bir şekilde akciğer rahatsızlığına yakalanabildikleri anlaşılmaktadır.

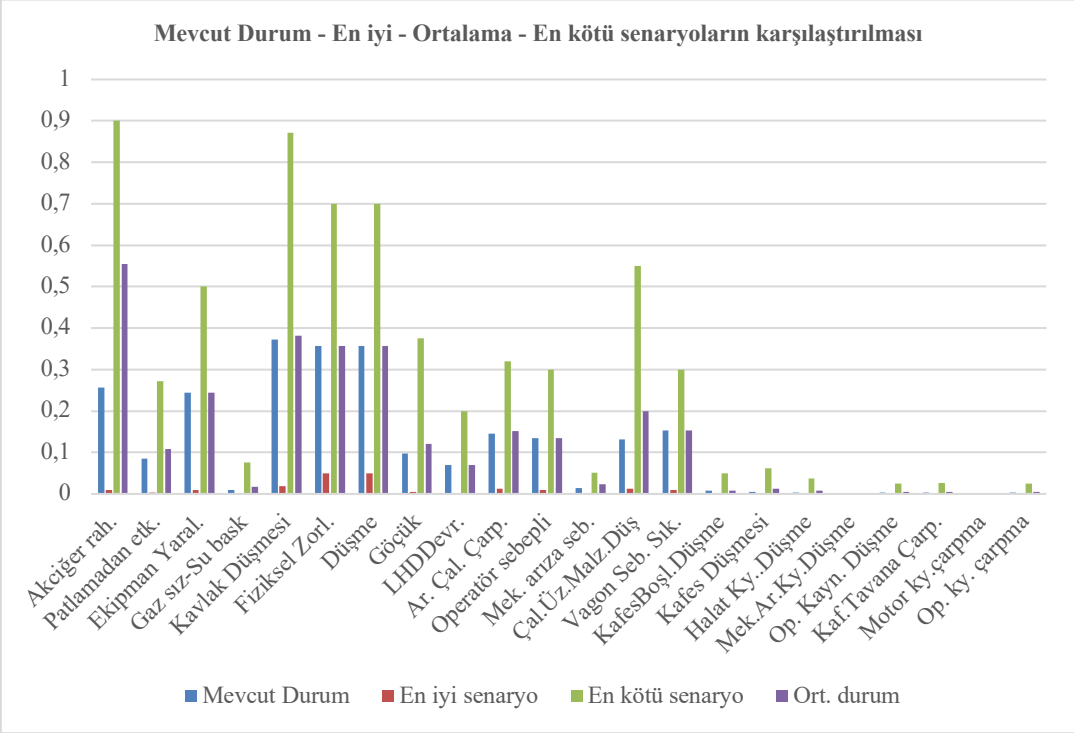
Şekil 5.42'de görüldüğü gibi, yeraltı madeni olay olasılıklarının en iyi senaryolar, en kötü senaryolar ve ortalama senaryolar altındaki ortalamalarına bakıldığında, kazaların önlenmesindeki en etkili nedenlerin sırasıyla yönetimsel unsurlar, jeolojik unsurlar ve çalışan dikkatini kapsayan insan faktörleri olduğu görülmektedir.



Şekil 5.42 : Senaryolar altındaki olay olasılıkları ortalamaları.

En iyi, en kötü ve ortalama senaryoların olay olasılıklarına yansımasının görüldüğü Şekil 5.43'te, en göze çarpan durumun, en kötü senaryonun olay olasılığını en yüksek noktaya taşıdığı olayların, "akciğer rahatsızlıkları" ve "kavlak düşmesi" olduğu anlaşılmaktadır. Gerekli uygulamalar dikkatle gerçekleştirilmezse, diğer bir deyişle

kök nedenlerin en kötü senaryoyu oluşturur biçimde bir araya gelmesi söz konusu olursa, fiziksel zorlanma ve düşme olaylarının da muhtemelen yaşanacağı öngörülür.



Şekil 5.43 : Olayların mevcut durum, en iyi, en kötü ve ortalama durum senaryoları olasılıkları.

5.4.2 Olayların şiddet çıktıları ile birlikte değerlendirilmesi

Yeraltı madeninde istenmeyen olaylara yol açan kök nedenlerin ve öncül olasılıklarının belirlemeleri ve Bayes Teoremi'ne uygun bir şekilde istenmeyen olayların çeşitli senaryolar altında gerçekleşme olasılıklarının belirlenmeleri tamamlanmıştır. Olayların yaşanması durumunda hangi şiddet seviyelerinde çıktılar sunabileceklerine dair belirlenen parametreler ile mevcut durum faaliyetleri kapsamında beklenen yaralanma şiddet belirlemeleri yapılabilir.

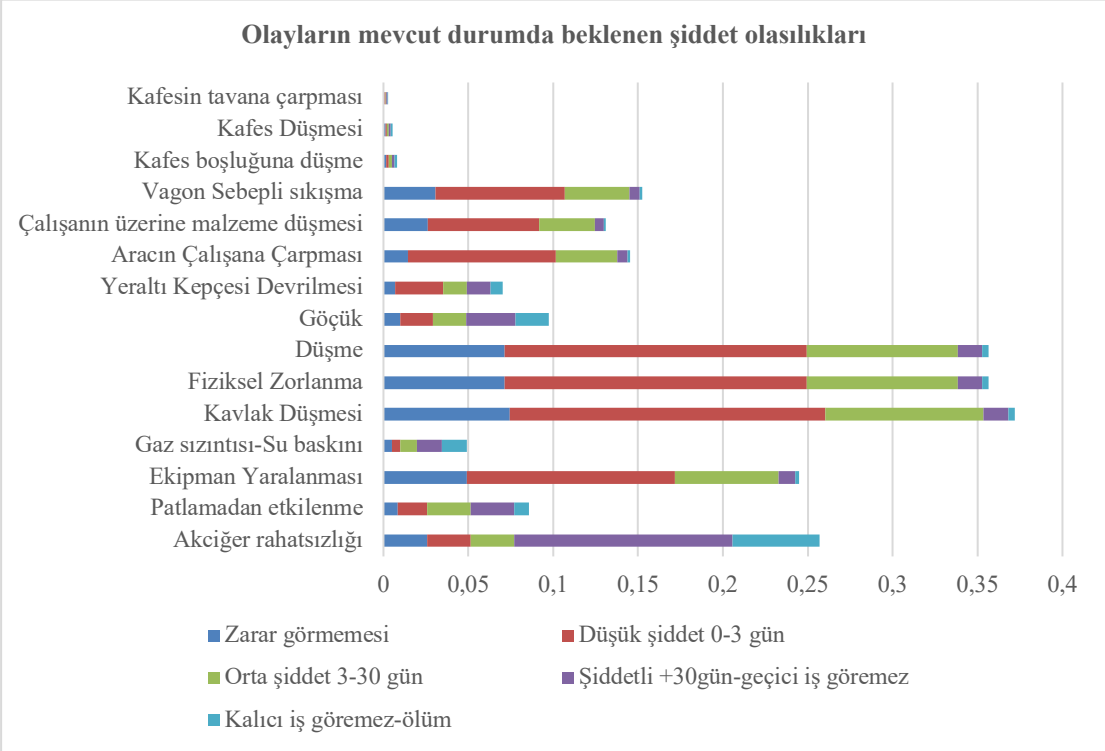
Çizelge 5.60'da verilmiş olan istenmeyen olayların muhtemel şiddet çıktıları ile Çizelge 5.86'da verilmiş olan mevcut durum altındaki olay gerçekleşme olasılıklarının çarpımı ile elde edilen çeşitli sonuçlar Çizelge 5.87 ve Şekil 5.44'deki gibidir. Mevcut durumun en fazla beklenen istenmeyen olay-şiddet durumunun, "0-3 gün iş görememeye sebep olacak kavlak düşmesi" olayı olduğu anlaşılır. Daha sonra "aynı düşük şiddet çıktısı ile fiziksel yaralanma, düşme ve ekipman yaralanması olayları" ile +30 gün geçici işe göremezliğe sebep olabilecek "akciğer rahatsızlığı" olayının da işletmenin gerçekleşmesi en fazla beklenen olayları olduğu söylenebilir. Tablo ile ilgili

diğer bir çarpıcı sonuç ise, "akciğer rahatsızlıklarının, yeraltı maden kazalarının kalıcı iş göremez-ölüm çıktısına en fazla sebep olabilecek olayı" olduğudur.

Çizelge 5.87 : Mevcut durum senaryosu altında istenmeyen olayların şiddetlerine göre olasılıkları.

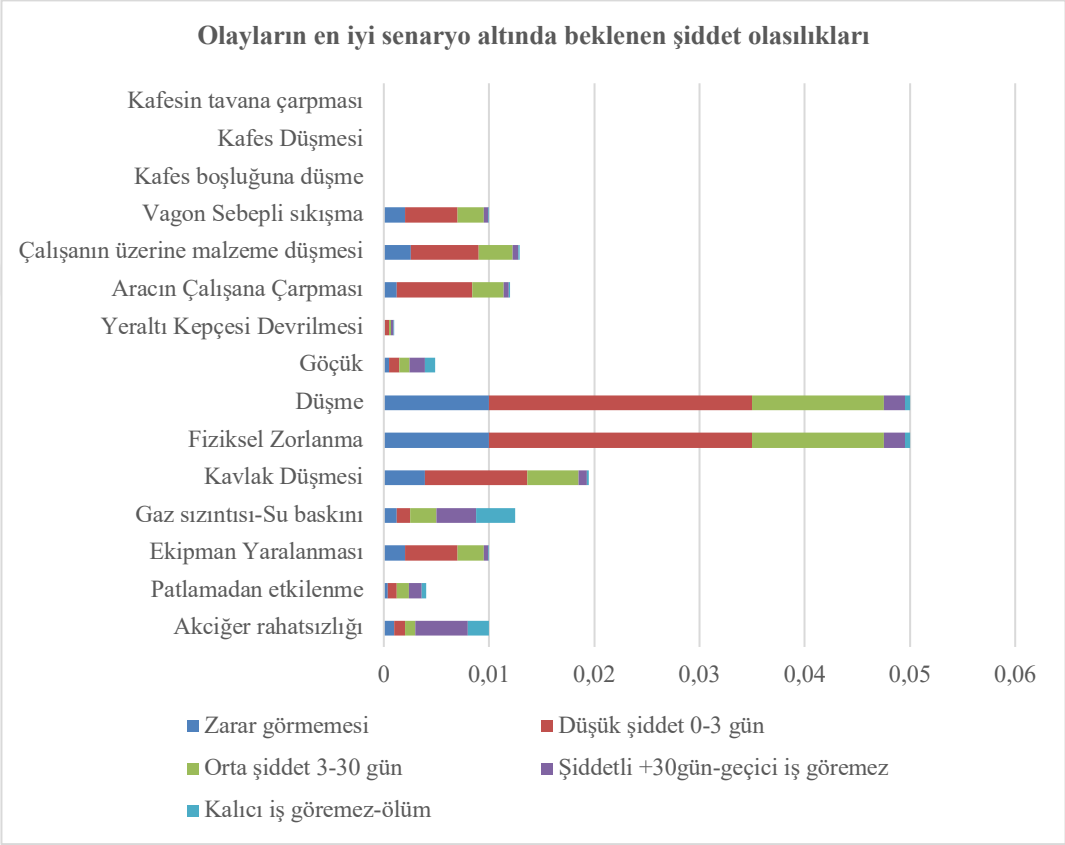
Olay sebebiyle beklenen şiddet olasılıkları	Mevcut durum olasılığı	Zarar görmemesi	Düşük şiddet 0-3 gün	Orta şiddet 3-30 gün	Şiddetli +30gün-geçici iş göremez	Kalıcı iş göremez-ölüm
Akciğer rah.	0,2568	0,02568	0,02568	0,02568	0,1284	0,05136
Patlama. etk.	0,07640	0,00764	0,01528	0,02292	0,02292	0,00764
Ekp. Yaral.	0,245	0,049	0,1225	0,06125	0,0098	0,00245
Gaz / Su fel.	0,0493	0,00493	0,00493	0,00986	0,01479	0,01479
Kavlak Düşm.	0,3719	0,07438	0,18595	0,092975	0,014876	0,003719
Fiziks. Zorl.	0,3563	0,07126	0,17815	0,089075	0,014252	0,003563
Düşme	0,3563	0,07126	0,17815	0,089075	0,014252	0,003563
Göçük	0,0822	0,00822	0,01644	0,01644	0,02466	0,01644
Yer.Kep.Devr.	0,0701	0,00701	0,02804	0,01402	0,01402	0,00701
Ar Çal. Çarp.	0,1451	0,01451	0,08706	0,036275	0,005804	0,001451
Çal.malz.düş.	0,1311	0,02622	0,06555	0,032775	0,005244	0,001311
Vag. Seb. Sık.	0,1525	0,0305	0,07625	0,038125	0,0061	0,001525
Kaf. boşl. düş.	0,0081	0,00162	0,00162	0,00162	0,00162	0,00162
Kafes Düşm.	0,0054	0,00108	0,00108	0,00108	0,00108	0,00108
Kaf. tav. Çarp.	0,0028	0,00056	0,00056	0,00056	0,00056	0,00056

Şekil 5.44'de görülen grafiğin, yeraltı madenlerinde çalışanların maruz kaldığı istenmeyen olayların hem gerçekleşme olasılıklarının hem de şiddet zarar seviyelerinin karşılaştırmalı olarak incelenebildiği belirtilmelidir.



Şekil 5.44 : Olayların mevcut durumdaki şiddet olasılıkları.

Mevcut durum bir yana, maden işletmesinin en iyi senaryo koşullarına ulaştığının varsayılması durumunda beklenen olay-şiddet olasılıkları grafiği Şekil 5.45'teki gibidir. En iyi koşullar sağlansa bile yeraltı madeninin en fazla beklenen olayları "0-3 gün iş görememe şiddet çıktısına sahip olan düşme, fiziksel zorlanma ve kavlak düşmesi olayları"dır. En iyi senaryo altında en şiddetli çıktıyı veren olayın da gaz sızıntısı-su baskını olduğu anlaşılmaktadır.



Şekil 5.45 : Olayların en iyi senaryo altında beklenen şiddet olasılıkları.

Olay olasılıkları, şiddet olasılıklarını doğru orantı ile etkiledikleri için, kök nedenlerin olayların gerçekleşme olasılıkları üzerindeki etkisi ne ise, olayların beklenen şiddet çıktıları üzerindeki etkileri de aynıdır.

5.4.3 Kök nedenlerin ve ara olayların soncul olasılıklarının hesaplanması-geriye doğru sorgulama

Ara olayların ve üst olayların olasılıklarının bulunmasının ardından, Bayes Teoremi'nden yararlanılarak kök neden ve üst olayların soncul olasılıkları bulunur. X, Y'nin meydana gelmesine neden olan bir ebeveyn değişken olup, Y çocuk değişkeninin gözlemlenmesi halinde, bu durum içinde X değişkeninin rolünün bulunmasını sağlar. Diğer bir deyişle, ağ içindeki üst olayların gerçekleşmesinde kök

nedenlerin ve ara olayların payı ortaya çıkarılacaktır. Soncul olasılığı yüksek olan bileşen için daha fazla yönetim ve kontrol düzenlemeleri ya da hata önleyici sistemler oluşturma gibi gerekli eylem planlarının tasarlanması gerekir.

Bayes Teoremi, olay ya da kanıt adı verilen yeni bir bilgi geldiğinde, bilinen Bayes denklemi aracılığıyla, olayların ilk olasılıklarını güncelleyerek sonraki olasılıklarını verebilmektedir. Bu kanıt, kimi zaman hayatını kaybeden bir insan, kimi zaman bir aksilik, bir olay ya da bir sürecin yaşam döngüsünde meydana gelen herhangi bir kaza olarak gözlemiş olabilir (Zarei ve diğ., 2017).

Örneğin çalışanın akciğer rahatsızlığına yakalandığı biliniyorsa bunun hangi kök nedenden kaynaklandığını belirlemek, soncul olasılık hesaplamaları ile yapılır. Akciğer rahatsızlığı ile ilişkili kök nedenler "İSG Eğitim" ve "İSG Planlama"dır. Akciğer rahatsızlığı ile ilişkili kök nedenlerin Bayes Teoremi denklemine göre soncul olasılıkları denklem 5.142'deki gibi hesaplanacaktır:

$$\begin{aligned} P(\text{İSG Eği.}\,|\text{Akciğer rah.}) &= \frac{P(\text{Akciğer r.}\,|\text{Yetersiz İSG Eği.}) * P(\text{Yetersiz İSG Eği.})}{P(\text{Akciğer r.})} \\ P(\text{İSG Eğitim}\,|\text{Akciğer rah.}) &= \frac{0{,}40284 * 0{,}5}{0{,}2568} = 0{,}78434579 \\ P(\text{İSG Planlama}\,|\text{Akciğer rah.}) &= \frac{P(\text{Akciğer r.}\,|\text{Yetersiz İSG Pl.}) * P(\text{Yetersiz İSG Pl.})}{P(\text{Akciğer rah.})} \\ P(\text{İSG Planlama}\,|\text{Akciğer rah.}) &= \frac{0{,}9 * 0{,}1}{0{,}2568} = 0{,}3504673 \end{aligned} \quad (5.142)$$

Kök nedenlerin istenmeyen olayların yaşanma ihtimalleri göz önüne alınarak hesaplanmış soncul olasılıkları Çizelge 5.88'de gösterildiği gibidir.

Çizelge incelendiğinde, aşağıdaki çıkarımlar yapılabilir:

- Gaz sızıntısı-su baskını, göçük ve kavlak düşmesi olaylarının en etkili nedeni, "kırık kayaç yapısı"dır.
- Diğer tüm istenmeyen olayların meydana gelmesindeki en temel faktörün eğitim olduğu görülür. Çalışanın sahip olduğu İSG eğitim bilgisi, disiplini ve uygulaması yeraltı madeninde belirtilen istenmeyen olayların yaşanmamasında çok büyük etkiye sahiptir.
- Çalışan dikkati değişkeni olaylar üzerinde önemli düzeyde etkiye sahip olsa da İSG eğitim değişkeni kadar etkili değildir.

Çizelge 5.88 : Kök nedenlerin istenmeyen olaylara göre soncul olasılıkları.

İstenmeyen Olaylar	Kök Nedenlerin Soncul Olasılıkları					
	Kırık kayaç yapısı	Yetersiz İSG Eğitim	Yetersiz İSG Denetim	Yetersiz İSG Planlama	Yetersiz Çalışan Dikkati	Engebeli Çalışma Zemini
Akciğer rahatsızlığı		0,7843		0,3505		
Patlamadan etkilenme		0,9895	0,1214		0,5303	
Ekipman Yaralanması		0,7653			0,6888	0,5612
Gaz sızıntısı - Su baskını	0,8588	0,6960	0,3206			
Kavlak Düşmesi	0,9893	0,5664	0,1056		0,5265	
Fiziksel Zorlanma		0,7719			0,6316	0,5614
Düşme		0,7719			0,6316	0,5614
Göçük	0,9651	0,6932	0,1491			
Yer altı Kepçesi Devrilmesi		0,8913			0,7130	0,6061
Aracın Çalışana Çarpması		0,8099		0,1143	0,6424	0,5744
Çalışanın Üzerine Malzeme Düşmesi		0,8771	0,2180		0,6479	
Vagon Sebepli Sıkışma		0,8197			0,6557	
Kafes Boşluğuna Düşme		0,9998			0,9997	
Kafes Düşmesi		0,9894		0,4875	0,5905	
Kafesin Tavana Çarpması		0,9998		0,2799	0,6739	

5.4.4 Yeraltı maden faaliyetlerinin risk değerlendirmesi

Çalışma kapsamında oluşturulan, faaliyetlerin çeşitli olayların risk alanları içinde bulunmasıyla ilişkili risk-etki alan ağırlıkları ile her olayın olasılıkları kullanılarak, yeraltı maden faaliyetlerinin çalışanlarının etkisi altında kaldıkları wr^j risk ağırlıkları değerlendirilecektir. Bunun için Çizelge 5.64'de verilen r_i^j risk-etki ağırlıkları ile her olayın mevcut durumdaki gerçekleşme olasılıklarının, matris çarpımlarının yapılması gerekecektir.

Böylelikle ortaya her faaliyetin istenmeyen olaylar sebebiyle sahip olduğu risk-etki ağırlıkları Çizelge 5.89'daki gibi bulunur:

Çizelge 5.89 : Yeraltı madeni faaliyetlerinin wr^j genel risk-etki ağırlıkları.

Süreç	Süreç risk-etki ağırlıkları	Normalizasyon
Ocak içi Ekipman	0,0285	0,0472
Delme	0,0130	0,0215
Ateşleme	0,0267	0,0443
Tahkimat	0,0626	0,1039
Ayna-kürek kull.	0,1062	0,1762
Ayna-kepçe	0,0155	0,0257
Nakliyat (el-vagon)	0,2399	0,3981
Nakliyat-kepçe	0,0254	0,0421
Yükleme- Oluk	0,0640	0,1062
Yükleme-kafes	0,0204	0,0339
Kafes nakliyat	0,0004	0,0007

Tablodan anlaşıldığı gibi yeraltı madeninin mevcut işleyişi süresince, çalışanların mesleki güvenlik ile ilişkili olaylar sebebiyle en fazla risk altında olduğu faaliyetin vagon nakliyatı olduğu, dolayısıyla yeraltında en fazla mesleki güvenlik riskine maruz kalan çalışanların vagon nakliyatından sorumlu olan çalışanlar olduğu söylenebilir.

Çizelge 5.90'da maden işletmesine ait geçmiş kaza verileri içerisinden vagonla faaliyet gösterirken meydana gelmiş iş görememe rapor gün sayıları ile birlikte 10 kaza kaydı verilmiştir.

Vagon nakliyatından sonraki tehlikeli faaliyet, ayna-kürek kullanımı, oluk-yükleme ve tahkimattır. Vagon nakliyat dışındaki kaza kayıtları, yeraltı madeninde hangi faaliyet gerçekleştirilirken meydana geldiğine dair net bir ifade sunmadığı için bulgu karşılaştırması için kullanılamamıştır.

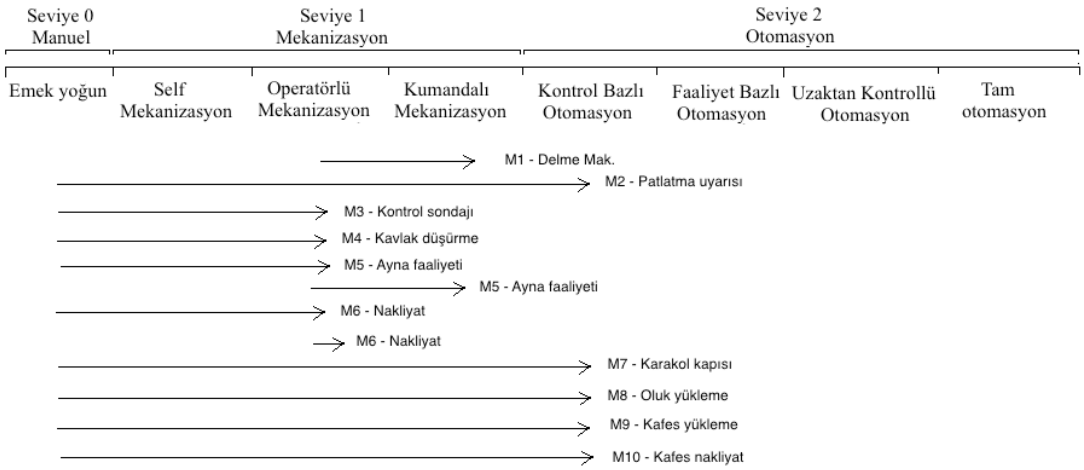
Çizelge 5.90 : Vagon nakliyatı ile ilişkili geçmiş kaza kayıtları.

Geçmiş kaza tanımı	Rapor gün sayısı
360 Katında sol bacağının vagon altında kalması	13
360 Katında vagon un üzerine devrilmesi	17
260 Katında vagonla taş arasına sol eli sıkışıp yaralanması	7
360 Katında vagon sürerken sol ayağına taş düşerek yaralanması	2
260 Katında vagon çevirirken vagonun arasında kalarak yaralanması	15
220 Katında vagon sürerken oluk demiri ile vagon arasına sol elin serçe parmağı sıkışması	12
390 katında vagon sürerken sağ elin orta parmağı vagonla direk arasına sıkışması	15
390 katında çalışırken vagon devrildi ve sol elin yaralanması	18
Yeraltında vagondaki cevheri düzeltirken el yaralanması	3
390 katında vagon kaldırırken bel incinmesi	5

5.4.5 Risk kontrol seçeneklerinin ağa etkilerinin belirlenmesi

Sistem kapsamında meydana gelebilecek olay olasılıklarının ve faaliyetler sebebiyle çalışanların maruz kaldığı tehlikelerin azaltılması için, ağa teknolojik ekipmanlarla ilişkili risk kontrol seçenekleri eklenmiştir. Yeraltı maden süreçlerinin, farklı seviyelerdeki teknolojik ekipmanlarla sürdürülmesi halinde öncelikle, olayların meydana gelme olasılıklarındaki değişikliklerin ve faaliyetler süresince çalışanların maruz kaldığı tehlike seviyelerinin, risk kontrol seçenekleri ile ilişkili parametreler aracılığıyla tekrar hesaplanarak ortaya çıkarılması sağlanmıştır. Böylelikle risk kontrol seçeneklerinin, yeraltı madenciliği mesleki güvenliğindeki etkinliği gözlenebilecektir.

Şekil 5.46'da teknolojik ekipman kullanımları ile ilişkili ağa eklenen risk kontrol seçeneklerinin, yeraltı maden süreçlerinde kullanılan mevcuttaki teknoloji seviyesinden hangi teknoloji seviyelerine ulaşıldığı gösterilmektedir.



Şekil 5.46 : Ağa eklenen risk kontrol seçenekleri ile süreçlerin yürütüldüğü teknolojik ekipman seviyesindeki değişiklikler.

Bayes ağına eklenen 10 risk kontrol unsurunun 6 tanesi ana faaliyet ekipmanı önerisi olup, faaliyetin farklı bir ekipmanla sürdürülmesi kapsamında ele alınır. Bu risk kontrol seçenekleri, delme ve ayna faaliyetlerinin kumandalı mekanizasyonla gerçekleştirilmesi, nakliye faaliyetinin operatörlü mekanizasyonla gerçekleştirilmesi ve oluk yükleme, kafes yükleme ve kafes nakliyat faaliyetlerinin de kontrol bazlı otomasyonlu sistemlerle sürdürülmesidir. Dolayısıyla faaliyetlerin gerçekleştirilme sürelerinin değişmesi ve çalışanı maruz bıraktıkları etki seviyelerinin değişebilmesi sebebiyle, faaliyetlerin çalışanları maruz bıraktıkları risk-etki ağırlıklarının güncellenmesi gerekmektedir. Faaliyetlerin risk kontrol seçenekleriyle gerçekleştirilmesi durumunda sahip oldukları risk-etki ağırlıkları Çizelge 5.91'de verilmiştir.

Ağa eklenen diğer patlatma uyarısı, kontrol sondajı, kavlak düşürme ve karakol kapısı ile ilgili 4 risk kontrol unsuru ise, ara olay olarak tanımlanmış faaliyetlerin farklı bir teknolojik ekipmanla sürdürülmesini kapsamaktadır. Dolayısıyla bu risk kontrol seçeneklerinin etkilediği değişkenlerin, yeniden oluşturulmuş şartlı olasılık tabloları aracılığıyla gerçekleşme olasılıklarının yeniden hesaplanması gerekir. Böylelikle Bayes ağ hesaplamalarının ilgili olaylar için güncellemesi yapılır.

Ağ içindeki patlatma uyarısı faaliyetinin "Risk kontrol II" sebepli değişmesi nedeniyle "patlatma uyarısı", "patlatma bölgesinde bulunma" ve "patlamadan etkilenme" değişkenlerinin olasılıkları Çizelge 5.92'de görüldüğü gibi yeniden hesaplanmış ve teknolojik müdahale ile patlamadan etkilenme olasılığının önemli bir düşüş yaşadığı görülmüştür.

Çizelge 5.91 : Faaliyetlerin risk kontrol seçenekleriyle gerçekleştirilmesi durumunda, olaylarla ilişkili r_i^j risk-etki ağırlıkları.

Süreçler	Akciğer rahatsızlığı	Patlamadan etkilenme	Ekipman Yaralanması	Gaz sızıntısı-Su baskını	Kavlak Düşmesi	Fiziksel Zorlanma	Düşme	Göçük	Yeraltı Kepçesi Devrilmesi	Aracın Çalışana Çarpması	Çalışanın üzerine malzeme düşmesi	Vagon Sebepli sıkışma	Kafes boşluğuna düşme	Kafes Düşmesi	Kafesin tavana çarpması
Ocak içi Ekipman	0,0030	0,0030	0,0077	0,0077	0,0077	0,0321	0,0321	0,0077	0,0077	0,0077	0	0,0321	0	0	0,0030
M1- Kumandalı Mekanizasyon Delme	0,00232	0,00232	0	0,00232	0,00091	0	0,00091	0,00232	0,00232	0	0	0	0	0	0
Ateşleme	0,0257	0,0257	0	0,0257	0,0257	0,0062	0,0257	0,0257	0	0	0	0	0	0	0
Tahkimat	0,0155	0,0061	0,0642	0,0155	0,0642	0,0642	0,0155	0,0642	0,0061	0,0061	0	0	0	0	0
Ayna-kepçe	0,0139	0,0139	0	0,0139	0	0	0	0,0578	0,0578	0	0	0	0	0	0
M5-Kumandalı LHD Mek. Ayna	0,00548	0,00548	0	0,00548	0,00548	0	0	0,01391	0,01391	0,05779	0	0	0	0	0
Nakliyat-kepçe	0,0348	0,0137	0	0,0137	0	0	0	0,0348	0,1445	0	0	0	0	0	0
M6 - Lokomotif - Nakliyat-Op. Mek.	0,03476	0,01371	0	0,01371	0	0	0	0,01371	0	0	0	0	0	0	0
M8- Oto oluk yükleme	0,01159	0	0	0,00457	0,00457	0	0	0,00457	0	0	0	0,01159	0	0	0
M9-Oto kafes yükl.	0,0018	0	0	0,004571	0,0018	0	0	0,0018	0	0,0046	0,0018	0,0018	0,0046	0,0046	0,0046
M10- Oto kafes nakliyat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1445

Çizelge 5.92 : "Risk kontrol II" sonrası ağda güncellenen olasılıklar.

Mevcut Durumu Gösterir Bayes Ağı	p	Risk Kontrol Seçenekleriyle Bayes Ağı	p
P(Yetersiz düzeyde patlatma uyarısı)	0,19	P(Patlatma uyarı sisteminin etkin çalışmaması)	0,0735
P(Patlatma bölgesine bulunma)	0,107	P(Patlatma bölgesine bulunma)	0,072
P(Patlamadan etkilenme)	0,1280	P(Patlamadan etkilenme)	0,0857

"Risk kontrol III" sebepli, ağ içinde "saha kontrol" değişkeninin "kontrol sondajı" değişkenine dönüşmesi gereği, güncellenen olasılıklar Çizelge 5.93'te verilmiştir. Gaz-su patlaması olay olasılığının yapılan müdahale sonrası düştüğü görülmüştür.

Çizelge 5.93 : "Risk kontrol III" sonrası ağda güncellenen olasılıklar.

Mevcut Durumu Gösterir Bayes Ağı	p	Risk Kontrol Seçenekleriyle Bayes Ağı	p
P(Yetersiz düzeyde saha kontrol)	0,1975	P(Patlatma uyarı sisteminin etkin çalışmaması)	0,155
P(Gaz sızıntısı- su baskını)	0,0493	P(Gaz sızıntısı- su baskını)	0,0137

Yeraltı faaliyetlerinde kavlak düşürme makinesinin kullanımını öneren "Risk kontrol IV" unsuru sebepli, ağ içinde "kavlak düşürme" değişkeni "mekanik kavlak düşürme" değişkenine dönüşmüş ve "kavlak düşmesi" olay olasılıkları Çizelge 5.94'teki gibi güncellenmiştir. Kavlak düşürme ile ilgili risk kontrol seçeneğinin diğer teknolojik ekipman müdahaleleri kadar etkili olmayan bir düşüş sağlayacağı görülmüştür.

Çizelge 5.94 : "Risk kontrol IV" sonrası ağda güncellenen olasılıklar.

Mevcut Durumu Gösterir Bayes Ağı	p	Risk Kontrol Seçenekleriyle Bayes Ağı	p
P(Yetersiz kavlak düşürme)	0,3975	P(Yetersiz mekanik kavlak düşürme)	0,2103
P(Kavlak düşmesi)	0,3719	P(Kavlak düşmesi)	0,3272

"Risk kontrol VII" sebepli, ağ içindeki "karakol kapısı" değişkeninin, "otomatik karakol kapısı" değişkenine dönüşmesi ile ilişkili olay olasılıkları Çizelge 5.95'de görüldüğü gibi yeniden hesaplanmış ve kafes düşmesi olay olasılığının düştüğü gözlemlenmiştir.

Çizelge 5.95 : "Risk kontrol VII" sonrası ağda güncellenen olasılıklar.

Mevcut Durumu Gösterir Bayes Ağı	p	Risk Kontrol Seçenekleriyle Bayes Ağı	p
P(Karakol kapısının açık kalması)	0,2003	P(Otomatik karakol kapısının açık kalması)	0,0476
P(Kafes boşluğuna düşme)	0,0081	P(Kafes boşluğuna düşme)	0,0019

Yeraltı maden faaliyetlerine “Risk kontrol X” olarak eklenen otomatik kafes vinç sistemi ana ekipmanı sebepli, kafes düşmesi olayı ebeveynlerinden “operatör sebepli düşme” değişkeni, “elektronik arıza kaynaklı” olarak; “operatör kaynaklı kafesin tavan çarpması” değişkeni de “elektronik hata kaynaklı kafesin tavana çarpması” değişkeni olarak değişmiştir. Diğer bir deyişle operatör hatalarının yerini, elektronik hatalar almıştır. İlişkili olarak ağda güncellenen nicel değerler Çizelge 5.96’daki gibidir:

Çizelge 5.96 : “Risk kontrol X” sonrası ağda güncellenen olasılıklar.

Mevcut Durumu Gösterir Bayes Ağı	p	Risk Kontrol Seçenekleriyle Bayes Ağı	p
P(Operatör hatası kaynaklı kafes düşmesi)	0,0026	P(Elektronik arıza kaynaklı kafes düşmesi)	0,0048
P(Operatör hatası kaynaklı kafesin tavana çarpması	0,0026	P(Elektronik arıza kaynaklı kafesin tavana çarpması)	0,0048
P(Operatör kumanda hatası)	0,0403	P(Elektronik arıza)	0,0735

Görüldüğü gibi, elektronik kazaların yaşanma ihtimali sebepli otomatik kafes vinç sistemi kazaları, mevcut operatörlü vinç sistemi kaza olasılıklarından daha fazla öngörülmüştür. Bunun nedeni, elektronik sistemlerle kontrol edilen vinç sistem etkinliğinin doğrudan bakım unsuruna bağlı olmasıdır. Ağ kapsamında belirlenen bakım unsuru çalışan İSG eğitim ve planlama unsurlarına bağımlıdır. Maden mevcut çalışan İSG eğitim düzeyinin ortalama seviyede (p=0,5) kabul edilmesi sebepli, mevcut durumu yansıtan değerler üzerinden ele alındığında, otomasyon sistemi ile kontrol edilen otomatik bir vinç sisteminin güvenilirliği, operatörlü sistemle yönetilen vinç sistemine göre daha düşüktür.

Çizelge 5.97’de verilen ve risk kontrol unsurlarının ağ içindeki istenmeyen olay olasılıklarına olan yansımasına bakıldığında, yalnızca “patlamadan etkilenme”, “gaz sızıntısı-su baskını”, “kavlak düşmesi”, “kafes boşluğuna düşme”, “operatör kaynaklı düşme” ve “operatör kaynaklı kafes çarpması” olaylarının olasılıklarının değiştiği görülür. Bunun nedeni, yalnızca ara olay değişkeni olarak eklenen risk kontrol seçeneklerinin ağ üst olay olasılıklarına yansıyor olmasıdır.

Ana faaliyet ekipmanı olarak ağa eklenen risk kontrol seçenekleri aracılığıyla faaliyetlerin olaylar sebepli değişen ve Çizelge 5.91’de görülen risk-etki ağırlıkları kullanılarak, her faaliyetin istenmeyen olaylar sebepli sahip olduğu risk-etki ağırlıkları Çizelge 5.98’deki gibi bulunur.

Çizelge 5.97 : Bayes ağındaki, istenmeyen olayların mevcut durum ve risk kontrol ekipmanlarıyla gerçekleştirildiği durum altındaki karşılaştırmalı olasılıkları.

Bayes Ağı Mevcut Durum İstenmeyen Olayları	Mevcut Bayes Ağı Olay Olasılıkları	Risk Kontrol Seçenekleriyle Bayes Ağı Beklenen İstenmeyen Olayları	Risk Kontrol Seçenekleriyle Bayes Ağı Beklenen Olay Olasılıkları
Akciğer rahatsızlığı	0,2568	Akciğer Hastalığı	0,2568
Patlamadan etkilenme	0,1280	Patlamadan etkilenme	0,0857
Ekipman Yaralanması	0,2450	Ekipman Yaralanması	0,245
Gaz sızıntısı - Su baskını	0,0493	Gaz sızıntısı - Su baskını	0,0137
Kavlak Düşmesi	0,3719	Kavlak Düşmesi	0,3272
Fiziksel Zorlanma	0,3563	Fiziksel Zorlanma	0,3563
Düşme	0,3563	Düşme	0,3563
Göçük	0,0822	Göçük	0,0822
Yer altı Kepçesi Devrilmesi	0,0701	Yer altı Kepçesi Devrilmesi	0,0701
Aracın Çalışana Çarpması	0,1451	Aracın Çalışana Çarpması	0,1451
Operatör sebepli Aracın Çalışana Çarpması	0,1350	Operatör Sebepli Aracın Çalışana Çarpması	0,135
Mekanik arıza sebepli aracın çalışana çarpması	0,0138	Araç arızası sebepli çalışana çarpma	0,0138
Çalışanın Üzerine Malzeme Düşmesi	0,1311	Çalışanın Üzerine Malzeme Düşmesi	0,1311
Vagon Sebepli Sıkışma	0,1525	Vagon Sebepli Sıkışma	0,1525
Kafes Boşluğuna Düşme	0,0081	Kafes Boşluğuna Düşme	0,0019
Kafes Düşmesi	0,0054	Kafes Düşmesi	0,0054
Halat Kaynaklı Düşme	0,0026	Halat Kaynaklı Düşme	0,0026
Mekanik Arıza Kaynaklı Düşme	0,0001	Mekanik Arıza Kaynaklı Düşme	0,0001
Operatör Kaynaklı Düşme	0,0026	Elektronik arıza kaynaklı düşüş	0,0048
Kafesin Tavana Çarpması	0,0028	Kafesin Tavana Çarpması	0,0028
Motor kaynaklı çarpma	0,0001	Motor Kaynaklı Çarpma	0,0001
Operatör kaynaklı çarpma	0,0026	Elektronik hata kaynaklı kafes çarpması	0,0048

Yeraltı madeninin risk kontrol seçenekleriyle belirtilen farklı teknolojideki ekipmanlarla işletilmesi halinde, mevcut durumda en riskli görülen "vagonla nakliyat, ayna-kürek kullanımı ve yükleme-oluk faaliyetleri" yerini "tahkimat, ocak içi ekipman taşıma ve ateşleme faaliyetleri"ne bırakır.

Çizelge 5.98 : Yeraltı madeni faaliyetlerinin risk kontrol seçenekleri uygulamaları sonrası risk-etki ağırlıkları ve mevcut durum ile karşılaştırılması.

Risk Kontrol Seçenekleriyle birlikte Süreçler	Risk Kontrol Seçenekleriyle süreçlerin risk ağırlıkları	Mevcut Süreçler	Mevcut durum süreçlerinin risk ağırlıkları
Ocak içi Ekipman	**0,1621**	Ocak içi Ekipman	0,0472
M1- Kum. Mek. Delme	0,0082	Delme	0,0215
Ateşleme	**0,1533**	Ateşleme	0,0443
Tahkimat	**0,3475**	Tahkimat	**0,1039**
Ayna-kepçe	0,0626	Ayna-kürek kull.	**0,1762**
M5-Kum. Mek. Ayna	0,0648	Ayna-kepçe	0,0257
Nakliyat-kepçe	**0,1059**	Nakliyat (el-vagon)	**0,3981**
M6-Lokomotif Op.nakliyat	0,0519	Nakliyat-kepçe	0,0421
M8-Oto oluk yükleme	0,0304	Yükleme- Oluk	**0,1062**
M9-Oto kafes yükleme	0,0115	Yükleme-kafes	0,0339
M10-Oto kafes nakliyat	0,0018	Kafes nakliyat	0,0007

Oluşturulan risk kontrol unsurları ile, çalışanını en çok risk altında bırakan faaliyetlerin çalışanlar için mesleki olarak daha güvenli faaliyetlere dönüşecekleri, oluşturulmuş risk analizi metodolojisi ile öngörülebilmektedir. İşletmenin bundan sonraki risk strateji araştırmaları, yeni en yüksek risk ağırlığına sahip "tahkimat, ocak içi ekipman taşıma ve ateşleme faaliyetleri" üzerine olmalıdır.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Yeraltı maden işletmeleri, büyük yatırımlar ve emeklerle kurulmuş işletmelerdir ve faaliyetleri tüm çalışanlarca zorlu ve riskli şartlar altında sürdürülür. Bu sebeple çalışma kapsamında, uygulamada yaşanan kazalar üzerine mesleki güvenlik risk analizi yapılmış ve çalışanlara zarar verme ihtimali bulunan tüm olaylar ele alınmıştır. Bayes ağları ve uzman yargılarının kullanımı ile bütünleşik ve kapsamlı bir risk analiz metodolojisi geliştirilmiştir.

Çalışmanın uzman görüşleri ile gerçekleştirilmiş olmasından dolayı, çalışma çıktılarının analist ve uzmanların bilgi ve görüşlerini yansıtacağı kabul edilmiştir (Hänninen ve diğ., 2014b). Analist, uzmanların konu ile ilgili bilgi ve deneyimlerinin analiz için anlamlı verilere dönüştürülmesini sağlar. Analist ile uzmanlar arasındaki iletişim kalitesinin, risk analizinin başarı ile gerçekleştirilmesindeki en önemli unsurlardan olduğu söylenebilir.

Oluşturulan metodolojinin, yeraltı krom madeni faaliyetlerine uygulanması ile mesleki güvenlik risk unsurlarıyla ilişkili önemli nicel ve nitel bulgular elde edilmiştir. Yeraltı madenlerinde süreçlerin emek-yoğun sürdürülmesine bağlı olarak, kazaların yaşanmasındaki kök nedenler "İSG eğitim, İSG denetim, İSG planlama, çalışan dikkati, jeolojik yapı ve maden çalışma zemini" olarak tespit edilmiştir. Yönetimsel unsurların ve insan faktörünün önemi incelenmiş, jeolojik unsurlarla birlikte kazalara olan etkileri araştırılmıştır.

Madencilik sektörü kaza literatürü bulguları ile çalışma bulgularının birbirlerini destekler nitelikte oldukları söylenebilir. Çalışma kapsamında yönetimsel unsurların kazaların yaşanmasında en fazla etkiye sahip nedenler olduğu belirlenmişken, Komljenovic ve diğ. (2017) de "organizasyon ve güvenlik kültürü" kavramının, kazaların yaşanmasındaki rolü için benzer ifadelerde bulunmuşlardır. Yeryüzü madenlerinde yükleme kamyonları ile ilişkili ölümlü kazaları inceleyen Zhang ve diğ. (2014) de, çalışmalarında kaza kök nedenlerini "yetersiz ön kontrol, yetersiz bakım ve güvenlik önlemlerinin alınmasına yönelik eğitim eksikliği" olarak belirlemişlerdir. Li ve diğ. (2016) ise, kömür madenlerinde yaptıkları kaza analizinde kaza kök

nedenlerinin "insanlar, makineler, çevre ve kurumsal faktörler" olduğunu belirtmişlerdir. İspanya'daki geçmiş maden kazalarının ve temel sebeplerinin incelendiği Sanmiquel ve diğ. (2015)'nin çalışmasında ise, yeraltı madenleri için en temel kaza sebeplerinin "bir nesneye vurma" veya bu çalışmada da ele alınan "çarpışma ve fiziksel zorlanma" olduğu tespit edilmiştir. Kazaların en fazla yaşandığı yerlerin, bu çalışmada da ele alınan maden yükleme ve boşaltma alanları olduğu tespit edilmiştir. Kazaların, çoğunlukla makine operasyonu sırasında, el aleti ile çalışırken ve yüklemenin el ile yapılması gibi aktiviteler sırasında meydana geldiği ve fiziksel çaba ya da aşırı efor sebepli kazaların, azaltılmasına yönelik koruyucu tedbirlerin alınması gerektiği ifade edilmiştir. Verma ve Chaudhari (2017) çalışmalarında, kazaların yaşanmasında insan faktörünü ele almışlar ve en sık karşılaşılan kaza nedenlerinin, dikkat, karar ve teknik unsurlarla ilişkili hatalar yüzünden durum ve risk değerlendirmelerinin çalışanlar tarafından yanlış yapılması olduğunu tespit etmişlerdir. Dolayısıyla tez çalışmasında, çalışanların hatalı durum ve risk değerlendirmeleri yapmamaları için en önemli faktör olarak tespit edilmiş olan İSG eğitim unsuru, çalışmanın literatürle benzer sonuçlara sahip olduğunu göstermektedir.

Uzmanlarla yapılan görüşmeler sonrasında, eğitim unsuruna bağlı ortaya çıkan hataların, dikkatsizlik unsurunun aksine düzeltilebilir davranışlardan oluştuğu düşünülmüştür. Çalışan tarafından yanlış kararların verilmesi ya da risk ve durumsal değerlendirmelerin yanlış yapılmasının sebebinin, çalışana konu ile ilgili eğitimlerin yeterince verilmemesi olduğu kabul edilmiştir. Çalışanların İSG konusunda eğitimi her işletmede mutlaka sağlanmaktadır, fakat verilen eğitimin çalışanı her türlü kaza ve yaralanmalardan koruyabilecek düzeye taşımaması halinde, kazaların yaşanmaya devam edeceği düşünülür. Dolayısıyla, eğitim içeriği ve yoğunluğu ile ilişkili unsurlara müdahale ederek, çalışanların mesleki güvenliklerini riske atacak hatalı değerlendirmelerinin önüne geçilebileceğine inanılır. İlgili eğitimlerle, kazaları önlemenin mümkün olduğu, güvenli olan ve olmayan ortam ile davranışlar arasındaki farklılıkların neler olduğu, güvenli davranma şartının kişilikten bağımsız zorunlu bir standart olduğu konularının çalışanlara kazandırılması amaçlanmalıdır. Cesur olmakla güvenli koşullarda olmanın farkının çalışana sunulduğundan emin olunmalıdır (Mohammadfam ve diğ., 2017). Çalışanın güvenli olmayan davranışlarda bulunmasının ancak ve ancak çalışanın ihtiyaç duyduğu eğitimi yeteri kadar almadığı durumlarda meydana geldiği gerçeği yönetimlerce kabul edilmeli, çalışanın eğitim

eksikliği mutlaka giderilmelidir. Ülkemiz Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Teftiş Kurulu Başkanlığı tarafından hazırlanan, "Yeraltı ve yerüstü maden işletmelerinde iş sağlık ve güvenliği rehberi (2011)" isimli raporda, İSG eğitimlerinin niteliğini ve kalitesini yönlendirmek kapsamında verilen ifade "tüm güvenlik talimatları işçilerin anlayacağı şekilde olacaktır" şeklindedir. Dolayısıyla İSG talimatlarının resim ve videolarla desteklenmesi, senaryo canlandırmaları ile yerinde örnekler sunarak, işçilere güvenli ve güvenli olmayan davranışlar arasındaki farklılıkların neden sonuç ilişkileriyle birlikte anlatılması ve tüm işçilerin güvenlik bilincini tam olarak kavradığından emin olunmasının sağlanması halinde, İSG eğitimlerinin yeterliliğinden bahsedilebilir.

İSG eğitimi, maden jeolojik yapısı ve maden zemin şartları ile ilgili tüm koşullar olumlu olsa bile, çalışanların dikkatsizlik sebepli kazalar yaşadığı sonucuna ulaşılmıştır. Dikkat unsurunun, güvenlik kültürü ve eğitimlerden bağımsız olarak psikolojik ya da müdahale edilemeyen diğer etmenlere (mesai saati, yaş vb.) dayalı bir faktör olduğu görüşüne varılmış ve yaşanma sıklığının mevcut durumda %50 yeterli ve %50 yetersiz olduğu kabul edilmiştir. Diğer bir deyişle, insana dayalı dikkat unsurunun yetersizliği, kabul edilmesi gereken bir varsayım olarak ele alınmıştır.

Çalışma kapsamında ele alınan 15 olayın, en iyi senaryo altında dahi 12 tanesinin yaşanma olasılığının "0" olmadığı görülmüştür. En iyi senaryo altında dahi gerçekleşme olasılığı en yüksek olan olayların ise ekipman yaralanması, fiziksel zorlanma ve düşme olayları oldukları görülmektedir. Ayrıca bu olayların, çalışan dikkati unsurundan en fazla etkilenen olaylar olduğu da anlaşılmıştır. Horberry ve diğ. (2016) tarafından da ortam hava koşulları, stres, kontrolün azlığı, çalışma temposu, iş arkadaşları ya da yönetici ile anlaşmazlıklar gibi psikolojik durumların, madencilikte yaşanan yaralanmalar için doğrudan olmayan risk faktörleri olarak kabul edildiği bildirilmektedir. Psikoloji uzmanlarıyla bir arada çalışılarak, yeraltı madenlerinde insan faktörleriyle ilişkili, güvenli olmayan davranışların incelenmesi önerilir. Dikkatsizlik ile ilgili durumları kontrol altına alabilmek, çalışanın güvenliğe dair farkındalığını ve motivasyonunu arttırmak için çalışanların her vardiyadan önce psikolojik durumlarının raporlanmasını sağlayıcı uygulamalar geliştirilebilir.

Oluşturulmuş Bayes ağı içinde ele alınmış ara olayların da literatürle paralellik gösterdiği görülmüştür. Örneğin, çalışmada "toz bastırıcı sistemler" olarak ele alınan değişken, Kissell (2003)'in çalışmasında ele alınmış ve bir madendeki tüm işçilerin,

havadan solunabilir toza maruz kalma riskinin olduğu, matkap operatörleri, delme operatörleri ve araç sürücülerinin potansiyel olarak toza daha yüksek maruz kalma riski altında olduğu belirtilmiştir. Horberry ve diğ. (2011) tarafından da solunabilir tozun, operatörü ve maden sahasında aktif çalışan herkesi etkilediği belirtilmiştir. Çalışmada oluşturulan senaryo analizleri ile ulaşılan "akciğer rahatsızlığı" yaşanma olasılık verilerinin, bu değerlendirmeleri doğrular nitelikte olduğu görülür. Akciğer rahatsızlıklarının önlenmesinde su spreyi uygulaması ya da makinelerin kesici uçlarına yerleştirilen su püskürtme memeleri, toz serbestliğini azaltmada önemli uygulamalardır. Tozu en iyi şekilde bastırmak ve toz serbestliğini en aza indirmek için, maden kırma noktalarına doğru yapılan su spreyleme uygulamalarının, akciğer rahatsızlığının yaşanmasını engelleyici etkili bir önlem olduğu söylenebilir.

Yeraltı madenciliği faaliyetlerinin çalışma kapsamında sunulanlarla sınırlı olmadığı söylenmelidir. Çalışma kapsamında belirlenen ve ele alınan faaliyetler, uzmanlar ile birlikte risk analizine dahil edilebilmesi konusundaki gerekliliği ve dahil edilebilirliği ele alınarak belirlenmiştir. Uzmanlara göre çalışmada ele alınan faaliyetlerin, yeraltı madeni faaliyetlerinin yaklaşık %90'ını temsil ettiği belirtilmektedir. Çalışmaya, yeraltı madeni bakım sürecinde yaşanabilecek istenmeyen olaylar, insan taşıma, doldurma işlemi, saha kontrolü ya da kontrol sondajı işlemleri ve kavlak düşürme faaliyetleri sırasında meydana gelebilecek olaylar dahil edilmemiştir. Çalışmada, uzmanlar tarafından, madenin çıkartım süreçlerinde belli düzen ve rutin içinde gerçekleştirilen süreçler olarak sunulan faaliyetlerin ele alınmış olması, çalışmanın uygulama kısıtlarından biri olarak kabul edilebilir.

Ağ içinde ele alınan değişkenlerle ilişkili de birtakım kısıtlar bulunmaktadır. Örneğin, aracın çalışana çarpması olayı ağ içinde, operatör ya da mekanik arıza kaynaklı aracın kontrol edilememesi olarak ayrı ayrı ele alınmıştır. Operatör kaynaklı aracın kontrolünün kaybedilmesi nedenlerinin, zeminin araç sürüşü için uygunsuz olması ve operatörünün dikkatini kaybetmesi, operatörün sürüş ile ilgili kuralları bilmesine rağmen uygulama disiplinine sahip olmaması ya da değişen koşullarda aracın hakimiyetini sağlama konusunda yeterli bilgiye sahip olmamasına bağlı olan İSG eğitim unsurları ile ilişkili olduğu düşünülmüştür. Aracın çarptığı çalışanla ilişkili davranışlar çalışmaya dahil edilmemiştir. Araç sürücüsünün olası her koşulda uygun müdahaleleri yapabilmekle ilişkili aldığı İSG eğitiminin ve sahip olduğu yüksek dikkat düzeyinin, kazanın olmasına yol açıcı etmenleri önleyebildiği varsayılmıştır.

Varsayımların azaltılarak daha ayrıntılı analizlerin gerçekleştirilebilmesi için, ağ içindeki her kazanın ayrı ayrı ele alınması önerilir. Örneğin, Xu Q. ve Xu K. (2018) çalışmalarında, yalnızca yeraltı raylı taşıma kazalarını ele almışlar ve çalışanların araçların önünden zamanında çekilmemelerinin nedenlerini de analize dahil edip, bu neden ile ilişkili unsurları aracın önünden çekilmeyen çalışanın "çalışıyor olması ya da aracın gelişini fark etmemiş olması (sinyal hatası)" olarak tanımlamışlardır.

Sonuçlar incelendiğinde, kafes düşmesi ve kafesin tavana çarpması kazalarının en iyi şartlarda asla yaşanmayacağı sonucuna ulaşılmıştır. Uzmanların kimi durumlara dair olasılık çıkarımlarında doğrudan 0 ya da 1 kesin değerlerini vermeye meyilli oldukları görülmüştür. Kafes düşmesi ve kafesin tavana çarpması kazalarının asla yaşanmayacağı, ya kafes çalışma sistemlerine çok güvendiklerini ya da yaşanmamış kazalar için olasılık değerlendirmesi yaparken iyimser yaklaşım içinde olduklarını göstermektedir. Dolayısıyla çalışmanın, insan performansına dayalı faaliyetlerde, makinelerden bağımsız gerçekleşen olaylar için sunduğu sonuçların, makine sistemlerine dayalı olaylara dair ortaya çıkan sonuçlardan daha güvenilir olduklarını düşünmek mümkündür.

Çalışma içinde ele alınan değişkenlerden sonra, bu değişkenlerle ilişkili analiz çıktılarının da literatür aracılığıyla doğrulandığı görülebilmektedir. Horberry ve diğ. (2011) tarafından, manuel yapılan işlerin, yaralanmalara neden olma potansiyeline sahip olduğu belirtilir. Eğilme ve çömelme gibi hareketlerin madenciler tarafından sıkça yapılmasının, kas-iskelet sistemi bozukluklarının yaygınlığını arttırdığı belirtilmiştir (Aghilinejad ve diğ., 2016). Dolayısıyla, çalışanların kas ya da iskelet sisteminde yaşadıkları fiziksel zorlanmanın, vagonla nakliyat ve ayna faaliyetlerinde yaygın olmasının nedeninin, bu faaliyetlerde eğilme ve çömelme hareketlerinin sıkça yapılması sebepli olduğu düşünülebilir.

Emek yoğun süreçlerce yönetilen faaliyetlerde yaşanan ortak kazaların fiziksel zorlanma ve düşme olduğu görülür. Manuel yapılan kaldırma, indirme, çekme, itme, matkap konumlandırma, fırlatma, vurma, çekiç kullanma gibi, yüksek hız, yüksek ağırlık, sürtünme kuvveti ya da sarsıntının olduğu ve güç kullanılarak gerçekleştirilen faaliyetlerin bedensel zorlanmalara neden olacağı Horberry ve diğ. (2011)'nin çalışmasında da belirtilmektedir. Dolayısıyla faaliyetlerin, çalışanları fiziksel olarak en fazla zorlayan noktalarında, makine ve otomasyondan alınan yardımlarla gerçekleştirilmesinin, yaralanmaların azalmasını sağlayacağı öngörülebilir.

Maden içindeki çok sayıdaki zorlu ve manuel işlerin teknolojik ekipmanlarla sürdürülmesine yönelik çalışma kapsamında oluşturulan risk kontrol seçenekleri ile, teknolojik ekipmanların mesleki güvenlik unsuruna olan etkileri incelenmiştir. Maden ekipmanlarının teknolojik olarak değerlendirmeleri için maden teknolojileri kapsamlı bir şekilde seviyelendirilmiştir. Maden faaliyetlerinin, farklı teknolojik ekipmanların kullanımının sağlanması halinde, çalışanları için yaratacağı mesleki güvenlik risk değerlendirmeleri yapılmıştır. Gelişmiş makine, ekipman ve teknolojik sistemlerin uygulamaları ile güvenlik sorunlarının çözülebileceğinin ortaya çıkarılması gerekliliği de literatürde yer almış bir öneridir (Samantra ve diğ., 2015). Yeraltı maden süreçlerinin farklı seviyelerdeki teknolojik ekipman kullanımları ile ilişkili oluşturulan risk kontrol seçenekleri ile ilişkili analiz sonuçlarının da literatür çalışmalarıyla desteklenmesi mümkün olmuştur. Örneğin, Boundreau-Trudel ve diğ. (2014) tarafından, çalışanların operasyonları havalandırmalı bir kabin içinden yönetmeleri halinde, toz, malzeme düşmesi gibi yeraltı madeninin çeşitli olumsuz koşullarından korunabileceği ifade edilmiştir. Tez çalışmasında da kürekle gerçekleştirilen ayna faaliyeti ile vagon iterek gerçekleştirilen nakliye faaliyetinin operatör tarafından kabin içerisinde yönetilen ekipmanlarla sağlanması durumunda, kavlak düşmesi kazalarının yaşanma ihtimallerinin ortadan kalkacağı sonucuna ulaşılmıştır. Benzer şekilde Boudreau-Trudel ve diğ. (2014), farklı teknolojik seviyelerde bulunan ekipmanlar ile faaliyet gösteren madenlerdeki kaza oranlarını inceledikleri çalışmalarında, yarı otomasyonlu teknoloji kullanımının, hiç otomasyonu olmayan maden ekipmanına göre daha az kaza oranı sunduğu ve genel olarak otomasyon derecesi ve ekipmanlardaki inovasyonlar arttıkça güvenlik şartlarının geliştiğini belirtmişlerdir.

Yeni teknolojilerin yeraltı madeninde kullanılması ile ilişkili tüm incelemeler, uzmanlar tarafından herhangi bir uygulamaya şahit olunmadığı için, deneyimlere göre değil, uzmanların varsayımlarına bağlı kalınarak yapılmıştır. Yeni teknolojilerin maden faaliyetlerinde kullanımının sağlanması halinde, uyum süresince çok çeşitli kazaların meydana gelmesi mümkündür. Fakat çalışmada bu uyum süreci değil, teknolojilerin mevcut kullanıma yerleşmesi halinde çalışanlara yansıyacak olan mesleki güvenlik ile ilişkili sorunları ele alınmıştır.

Kazaların önüne geçebilmek için uygun stratejileri belirlemek adına, literatürde pek çok farklı alanda yapılmış kaza analizleri vardır. Bu çalışmaların hepsinin amacı kazaların kapsamlı tanımlanmalarını sağlamak, kaza sebeplerini ortaya çıkarabilmek

ve bu sebepleri ortadan kaldıracak önlemleri belirleyebilmektir. Bu çalışmada da yeraltı madeninde mesleki güvenlik ile ilişkili olayların tanımlaması ve nedenlerinin ortaya çıkarılması için kapsamlı bir risk analiz metodolojisi geliştirilmiş ve kazaları önlemeye yönelik uygun stratejilerin belirlenebilmesi için, duyarlılık analizleri, senaryo analizleri ve risk kontrol analizleri yapılmıştır. Bulguların literatürle ve sınırlı sayıda da olsa kaza kayıtlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir.

Hangi sektör olursa olsun, emek yoğun faaliyetlerin bulunduğu süreçler dahilinde meydana gelen istenmeyen olayların önlenebilmesi için iki temel öneri sıralanabilir: 1) teknolojinin sürece dahil edilmesi ile faaliyet içindeki insan emeği ağırlığının azaltılması, 2) teknoloji unsurunun dahil edilememesi durumunda, çalışanı hata yapmaktan koruyacak düzeneklerin geliştirilmesi ve çalışanın güvenlik ve risk yorum yeteneğinin ve davranış biçimlerinin geliştirilmesinin sağlanması.

Maden faaliyetleri incelendiğinde, çalışma kapsamında oluşturulan risk kontrol seçeneklerinde görüldüğü gibi, teknolojilerin süreçlere dahil edilmesinin pek çok noktada mümkün olduğu görülmektedir. Fakat, gerçek hayatta madencilik sektörü motor gücünden ve otomasyon sistemlerinden yararlanma konusunda, diğer sektörlerden geride kalmıştır. İnsan gücü kullanım oranı oldukça fazla olan ülkemiz madenciliğini, dünya standartlarına yükseltebilmek için daha güvenli ve verimli bir madencilik sağlayacak akıllı teknolojilere geçiş sürecinin hızlandırılması gerekmektedir. Bunun için, emek-yoğun sistemlerle yürütülen süreçlerin, çalışanı mesleki tehlikelerden uzak tutacak akıllı sistemlerle kontrol edilerek, süreçlerin güvenliliği ve verimliliğinin, akademik ve yasa koyucu paydaşlarla iş birliği içinde çalıştaylarla ele alınması gerekmektedir. Ülke genelinde dönüşümün orta ve uzun vadeli planlamalar ve yasal mevzuatlarla gerçekleştirilebileceği ve teknolojik dönüşümün önündeki ekonomik kaygı engelinin ortadan kaldırılması için teşvik politikalarının geliştirilmesi gündemleri, gerekli platformlarda tartışılmalıdır.

Oluşturulan metodolojinin öncelikle farklı maden işletmelerinde uygulanabilirliğinin tartışılması ve işletmeler arası mesleki güvenlik riski karşılaştırmalarının yapılabilmesi için kök nedenlerin öncül olasılıklarının belirlenmesinde standartların belirlenmesi, gelecek çalışmalar için sunulan literatür önerilerinin başında gelmektedir. Kök nedenlere dair öncül olasılıkların, belirli bir standart altında atanabilmesinin sağlanması ile, oluşturulan metodolojinin her çalışan için, içinde bulunduğu faaliyete, bölgeye ya da ekipman koşullarına göre değişebilen kök

nedenlere ya da ilişkili olaylara bağlı olarak ayrı risk analizlerinin yapılması mümkündür. Böylelikle risk seviyesi yüksek olduğu düşünülen çalışan-faaliyet-bölge-ekipman atamalarından kaçınılabilir. Yeraltı madenlerindeki mesleki güvenlik riskini azaltıcı risk kontrol seçeneği kapsamında ele alınabilecek yeni ekipmanların çalışanlara ve süreçlere entegrasyonu ile ilişkili gerekli analizlerin yapılması da ayrı bir literatür çalışması önerisi olarak sunulur. Mesleki güvenlik riski ile ilgili araştırmaların, benzer nedensellik sorgulama anlayışıyla ve geçmiş veriler ulaşma kaygısı olmadan, çalışma kapsamında önerilen metodoloji ile bütünsel ve kapsamlı ele alınması önerilir.

Maden kazaları yalnızca maden çalışanlarını ve firma sahiplerini ilgilendiren bir konu değildir. Ülkemiz yasa koyucularının, kazanın çalışana yansıyan şiddetinin azaltılmasını sağlayan KKD ekipmanlarının sağlanmasından öte girişimlerde bulunması gerekmektedir. Kazaları önlemenin yolu, kaza nedenlerinin ortaya çıkarılması ve bu nedenlerin yaşanmaması için uygun düzenlemelerin yapılmasıdır. KKD kullanımı kazaların çoğunlukla şiddetini azaltıcı bir önlemdir, kazaları önleyici uygulamalar değillerdir. Çalışma kapsamında ulaşılan en önemli bulgu, kazaların yaşanmaması konusundaki en çarpıcı iyileşmeyi İSG eğitimi unsurunun sağlayabileceğidir. Çalışanların sürdürdükleri faaliyetlerle ilişkili İSG unsurlarına tam olarak hâkim olmaları, hangi şartların mesleki güvenlik açısından tehdit edici durumlar yarattığına dair farkındalıklarının oluşmasını sağlayacaktır. Eğitim, maden firmaları için her ne kadar uygulaması kolay ve standartları yönetmeliklerce belirli olan ve kaza nedeni olarak kolayca kabul edilmeyen bir kök neden olsa da çalışanlara İSG ile ilişkili yeterli düzeyde eğitim uygulanması hem oldukça kapsamlı hem de oldukça uzun vadede gerçekleştirilebilecek bir girişimdir. Bu yüzden eğitim unsurunun kazaların yaşanmamasını sağlayacak şekilde maden iş hayatlarına dahil edilmesinin ancak yasal düzenlemelerle başarılacağı kabul edilebilir. Madenlerde mesleki güvenlik düzeyinin iyileştirilmesinde, eğitim unsuru gibi yasa koyucuların müdahalelerine ihtiyaç duyan diğer bir faktör de teknolojik ekipman kullanımıdır. Firma sahiplerinin, madenlerinin yapısı ve ölçeğine uygun teknolojik ekipmanların geliştirilmesi için araştırma ve geliştirme yatırımları yapmaları gerekmektedir. Çalışanların hatalı davranışlarda bulunmasını önleyici kaza önleme düzenekleri ile mekanizasyon ve otomasyon teknolojisi sınıfı ekipmanlarıyla yeraltı maden faaliyetlerini yönetiyor olmaları, madencilik sektörü güvenlik risk düzeyinde oldukça etkili gelişmeler sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Abbas, A. E., Budescu, D. V., Yu, H. T., & Haggerty, R. (2008). A comparison of two probability encoding methods: Fixed probability vs. fixed variable values, *Decision Analysis*, *5* (4), 190-202.

Afenyo, M., Khan, F., Veitch, B., & Yang, M. (2017). Arctic shipping accident scenario analysis using Bayesian Network approach, *Ocean Engineering, 133,* 224–230.

Aghilinejad, M., Azar, N. S., Ghasemi, M. S., Dehghan, N., & Mokamelkhah, E. K. (2016). An ergonomic intervention to reduce musculoskeletal discomfort among semiconductor assembly workers. *Work*, *54* (2), 445-450.

Akhtar, M. J. & Utne, I. B. (2014). Human fatigue's effect on the risk of maritime groundings–A Bayesian Network modeling approach. *Safety Science*, *62*, 427-440.

Alpert, M., & Raiffa, H. (1982). A progress report on the training of probability assessors., In Daniel Kahneman, Paul Slovic & Amos Tversky (eds.), *Judgment Under Uncertainty: Heuristics and Biases*. Cambridge University Press. pp. 294—305.

Ayyub, B. M. (2001). Elicitation of expert opinions for uncertainty and risks. CRC Press, Boca Raton.

Azapagic, A. (2004). "Developing a framework for sustainable development indicators for the mining and minerals industry." *Journal of Cleaner Production, 12*, 639–662.

Baksh, A. A., Abbassi, R., Garaniya, V., & Khan, F. (2018). Marine transportation risk assessment using Bayesian Network: Application to Arctic waters, *Ocean Engineering*, *159*, 422-436.

Bellamy, D. & Pravica, L. (2011). Assessing the impact of driverless haul trucks in Australian surface mining, *Resources Policy*, *36* (2), 149-158.

Bjørndal, T., Herrero, I., Newman, A., Romero, C., & Weintraub, A. (2012). Operations research in the natural resource industry, *International Transactions in Operational Research*, *19* (1-2), 39-62.

Bobbio, A., Portinale, L., Minichino, M., & Ciancamerla, E. (2001). Improving the analysis of dependable systems by mapping fault trees into Bayesian networks, *Reliability Engineering & System Safety*, *71* (3), 249-260.

Boudreau-Trudel, B., Nadeau, S., Zaras, K., & Deschamps, I. (2014). Introduction of Innovative Equipment in Mining: Impact on Occupational Health and Safety, *Open Journal of Safety Science and Technology*. *4* (01), 49.

Carlson, B. W. (1993). The accuracy of future forecasts and past judgments. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, *54* (2), 245-276.

Chen, P., Mou, J., & Li, Y. (2015). Risk analysis of maritime accidents in an estuary: a case study of Shenzhen Waters. *Zeszyty Naukowe/Akademia Morska w Szczecinie*, *42* (114), 54-62.

Chin, K. S., Tang, D. W., Yang, J. B., Wong, S. Y., & Wang, H. (2009). Assessing new product development project risk by Bayesian network with a systematic probability generation methodology. *Expert Systems with Applications*, *36* (6), 9879-9890.

Clemen, R. T. & Winkler, R. L. (1999). Combining probability distributions from experts in risk analysis. *Risk Analysis*, *19* (2), 187-203.

Constantinou, A. C., Fenton, N., Marsh, W., & Radlinski, L. (2016). From complex questionnaire and interviewing data to intelligent Bayesian network models for medical decision support. *Artificial intelligence in medicine*, *67*, 75-93.

Cooke, R. (1991). Experts in uncertainty: opinion and subjective probability in science. Oxford University Press, New York.

Cooke, R. M. & Goossens, L. H. (2000). Procedures guide for structural expert judgement in accident consequence modelling. *Radiation Protection Dosimetry*, *90* (3), 303-309.

Dammers, M., Barnewold, L., Merchiers, A., Jeschke, P., & Pütz, M. (2019). Development of an Underground Haulage System Evaluation Tool for Feasibility Studies. *Mining, Metallurgy & Exploration*, *36* (3), 487-494.

De wispelare A. R., Herren L. T., & Clemen, R.T. (1995) The use of probability elicitation in the high-level nuclear waste regulation program. *International Journal Forecast*, *11* (1), 5–24.

Duan, R. X. & Zhou, H. L. (2012). A new fault diagnosis method based on fault tree and Bayesian networks. *Energy Procedia*, *17*, 1376-1382.

Edwards, W. & von Winterfeldt, D. (1986). Public disputes about risky technologies stakeholders and arenas. In *Risk Evaluation and Management* (pp. 69-92). Springer US.

Elevli, B., Demirci, A., & Sül, Ö. L. (1996). Taban ve tavan arınlı dolgulu üretim yöntemlerinde LHD kullanımın üretim maliyeti üzerindeki etkileri ve maliyetlerin tesbit edilmesine yaklaşımlar. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, *35* (2), 19-26.

Eskikaya, Ş. & Aydıner, S. (2003). "Küçük Ölçekli Metal Madenlerinde Mekanizasyonun Önemi ve Türk Maadin AŞ Örneği", Türkiye 18 Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi, IMCET.

Felbinger, Z. (1996). *Development of hydraulically-powered hand-held scaler device for underground mining (Master dissertation).* Retrived from *https://era.library.ualberta.ca/*

Fenton, N. & Neil, M. (2012). Risk assessment and decision analysis with Bayesian networks. CRC Press, Boca Raton

Fleming, M. & Lardner, R. (2002) Strategies to promote safe behaviour as part of a health and safety management system. HSE Books, England

Garvey, M. D., Carnovale, S., & Yeniyurt, S. (2015). An analytical framework for supply network risk propagation: A Bayesian network approach. *European Journal of Operational Research*, *243* (2), 618-627.

Ghodrati, B., Hadi Hoseinie, S., & Garmabaki, A. H. S. (2015). Reliability considerations in automated mining systems. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, *29* (5), 404-418.

Giannakis, M. & Papadopoulos, T. (2016). Supply chain sustainability: A risk management approach. *International Journal of Production Economics*, *171*, 455-470.

Gore, S. M. (1987). Biostatistics and the medical research council. *Medical Research Council News*, *35*, 19-20.

Gustafson, A., Schunnesson, H., Galar, D., & Kumar, U. (2013). The influence of the operating environment on manual and automated load-haul-dump machines: a fault tree analysis. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, *27* (2), 75-87.

Hagmayer, Y., Sloman, S. A., Lagnado, D. A., & Waldmann, M. R. (2007). Causal reasoning through intervention. *Causal learning: Psychology, Philosophy, and Computation*, 86-100.

Haimes, Y. Y. (2009). On the definition of resilience in systems. *Risk Analysis: An International Journal*, *29* (4), 498-501.

Hamza, Z. & Abdallah, T. (2015) Mapping fault tree into Bayesian network in safety analysis of process system. In: 2015 4th International conference on electrical engineering (ICEE). IEEE, pp 1–5.

Hänninen, M., Banda, O. A. V., & Kujala, P. (2014). Bayesian network model of maritime safety management. *Expert Systems with Applications*, *41* (17), 7837-7846.

Hänninen, M., Mazaheri, A., Kujala, P., Montewka, J., Laaksonen, P., Salmiovirta, M., & Klang, M. (2014). Expert elicitation of a navigation service implementation effects on ship groundings and collisions in the Gulf of Finland. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part O: Journal of Risk and Reliability*, *228* (1), 19-28.

Hänninen, M. & Kujala, P. (2012). Influences of variables on ship collision probability in a Bayesian belief network model. *Reliability Engineering & System Safety*, *102*, 27-40.

Hänninen, M. & Kujala, P. (2014). Bayesian network modeling of Port State Control inspection findings and ship accident involvement. *Expert Systems with Applications*, *41* (4), 1632-1646.

Hartman, H. L. & Mutmansky, J. M. (2002). *Introductory mining engineering*. John Wiley & Sons.

Hilson, G., & Murck, B. (2000). Sustainable development in the mining industry: clarifying the corporate perspective. *Resources policy*, *26* (4), 227-238.

Holyoak, K. J. & Morrison, R. G. (Eds.). (2005). *The Cambridge handbook of thinking and reasoning*. Cambridge University Press.

Horberry, T., Burgess-Limerick, R., & Steiner, L. (2016). Human centred design of equipment: lessons from the mining industry.

Hosack, G. R., Hayes, K. R., & Barry, S. C. (2017). Prior elicitation for Bayesian generalised linear models with application to risk control option assessment. *Reliability Engineering & System Safety*, *167*, 351-361.

Hyun, K. C., Min, S., Choi, H., Park, J., & Lee, I. M. (2015). Risk analysis using fault-tree analysis (FTA) and analytic hierarchy process (AHP) applicable to shield TBM tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, *49*, 121-129.

Johnson, S. R., Tomlinson, G. A., Hawker, G. A., Granton, J. T., Grosbein, H. A., & Feldman, B. M. (2010). A valid and reliable belief elicitation method for Bayesian priors. *Journal of Clinical Epidemiology*, *63* (4), 370-383.

Jones, B., Jenkinson, I., Yang, Z., & Wang, J. (2010). The use of Bayesian network modelling for maintenance planning in a manufacturing industry. *Reliability Engineering & System Safety*, *95* (3), 267-277.

Kabir, S. (2017). An overview of fault tree analysis and its application in model based dependability analysis. *Expert Systems with Applications*, *77*, 114-135.

Kabir, G., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2016). A fuzzy Bayesian belief network for safety assessment of oil and gas pipelines. *Structure and Infrastructure Engineering*, *12* (8), 874-889.

Kalantarnia, M., Khan, F., & Hawboldt, K. (2009). Dynamic risk assessment using failure assessment and Bayesian theory. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *22* (5), 600-606.

Kaplan, S. (1997). The words of risk analysis. *Risk analysis*, *17* (4), 407-417.

Kaplan, S. & Garrick, B. J. (1981). On the quantitative definition of risk. *Risk Analysis*, *1* (1), 11-27.

Kevorkian, C. G. (2016). *UAS Risk Analysis using Bayesian Belief Networks: An Application to the VirginiaTech ESPAARO* (Doctoral dissertation, Virginia Tech)

Khakzad, N., Khan, F., & Amyotte, P. (2013). Risk-based design of process systems using discrete-time Bayesian networks. *Reliability Engineering & System Safety*, *109*, 5-17.

Khakzad, N., Khan, F., & Amyotte P. (2011) Safety analysis in process facilities: comparison of fault tree and Bayesian network approaches. *Reliability Engineering & System Safety*, 96 (8), 925–932.

Khanzode, V. V., Maiti, J., & Ray, P. K. (2011). A methodology for evaluation and monitoring of recurring hazards in underground coal mining. *Safety Science*, *49* (8), 1172-1179.

Kızıl, M. S., Kızıl, G., Tatar, Ç., & Köse. H. (1995). *Madencilikte ileri teknolojinin kullanımı*. *Bilimsel Madencilik Dergisi*, *34* (2), 39-50.

Kissell, F. N. (2003). *Handbook for dust control in mining* (No. 9465). US Department of Health and Human Services, Public Health Service, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, Pittsburgh Research Laboratory.

Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik. (2013). *T.C. Resmî Gazete, 28695*, 2 Temmuz 2013.

Komljenovic, D., Loiselle, G., & Kumral, M. (2017) Organization: a new focus on mine safety improvement in a complex operational and business environment, *International Journal Minining Science Technology 27* (4), 617–625.

Kraaijeveld, P., Druzdzel, M., Oniśko, A., & Wasyluk, H. (2005). Genierate: An interactive generator of diagnostic bayesian network models. In *Proc. 16th Int. Workshop Principles Diagnosis* (pp. 175-180). Citeseer.

Kuyularda Taşıma Yönergesi. (2016). *İş Sağlığı, Güvenliği ve Eğitimi Dairesi Başkanlığı,* Nisan 2016.

Laitila, P. (2013). Improving the use of ranked nodes in elicitation of conditional probabilities for Bayesian networks. M.Sc. Thesis, Aalto University, Espoo, Finland

Landquist, H., Rosén, L., Lindhe, A., Norberg, T., & Hassellöv, I. M. (2017). Bayesian updating in a fault tree model for shipwreck risk assessment, *Science of The Total Environment*, *590*, 80-91.

Langseth, H. & Portinale, L. (2007). Bayesian networks in reliability. *Reliability Engineering & System Safety*, *92* (1), 92-108.

Laskey, K. B. (1995). Sensitivity analysis for probability assessments in Bayesian networks, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, *25* (6), 901-909.

Lee, C. J., & Lee, K. J. (2006). Application of Bayesian network to the probabilistic risk assessment of nuclear waste disposal, *Reliability Engineering & System Safety*, *91* (5), 515-532.

Leu, S. S.,& Chang, C. M. (2015). Bayesian-network-based fall risk evaluation of steel construction projects by fault tree transformation, *Journal of Civil Engineering and Management*, *21* (3), 334-342.

Lewis, M. B. (1979). A method for simulating fusion reactor radiation damage using triple ion beams, *IEEE Transactions on Nuclear Science*, *26* (1), 1320-1322.

Lynas, D. & Horberry, T. (2011). Human factor issues with automated mining equipment, *The Ergonomics Open Journal*, *4* (1).

MacLeod, A. K. & Tarbuck, A. F. (1994). Explaining why negative events will happen to oneself: Parasuicides are pessimistic because they can't see

any reason not to be, *British Journal of Clinical Psychology*, *33* (3), 317-326.

Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği. (2013). *T.C. Resmî Gazete, 28770,* 19 Eylül 2013.

Maden ve Taş Ocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Alınacak İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Önlemlerine İlişkin Tüzük. (2014).

Maden Sektörü Kişisel Koruyucu Donanım Rehberi. (2016). *T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.*

Madsen, A. L. & Kjærulff, U. B. (2013). *Bayesian networks and influence diagrams: a guide to construction and analysis* (pp. 1613-9011). New York: Springer. ISSN.

Mahdevari, S., Shahriar, K., & Esfahanipour, A. (2014). Human health and safety risks management in underground coal mines using fuzzy TOPSIS, *Science of the Total Environment*, *488*, 85-99.

Merchiers, A., Brudek, G., & Dammers, M. (2015). Advantages and Applications of Rail Haulage Systems in Underground Hard Rock Mining Operations. *Glückauf Mining Report, Gesamtverband Steinkohle eV, Herne*.

Merkhofer, M. W. (1987). Quantifying judgmental uncertainty: Methodology, experiences, and insights, *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, *17* (5), 741-752.

Mohammadfam, I., Ghasemi, F., Kalatpour, O., & Moghimbeigi, A. (2017). Constructing a Bayesian network model for improving safety behavior of employees at workplaces, *Applied Ergonomics*, *58*, 35-47.

Montibeller. G. & Winterfeldt D. (2015) Cognitive and motivational biases in decision and risk analysis, *Risk Analysis 35* (7), 1230–1251

Morris, D. E., Oakley, J. E., & Crowe, J. A. (2014). A web-based tool for eliciting probability distributions from experts, *Environmental Modelling & Software*, *52*, 1-4.

Nawrocki, T. L. & Jonek-Kowalska, I. (2016). Assessing operational risk in coal mining enterprises–internal, industrial and international perspectives, *Resources Policy*, *48*, 50-67.

Nebot, E. M. (2007). Surface mining: main research issues for autonomous operations. In *Robotics Research* (pp. 268-280). Springer, Berlin, Heidelberg.

Newman, A. M., Rubio, E., Caro, R., Weintraub, A., & Eurek, K. (2010). A review of operations research in mine planning, *Interfaces*, *40* (3), 222-245

Nordgård, D. E. & Sand, K. (2010). Application of Bayesian networks for risk analysis of MV air insulated switch operation, *Reliability Engineering & System Safety*, *95* (12), 1358-1366.

O'Hagan, A., Buck, C. E., Daneshkhah, A., Eiser, J. R., Garthwaite, P. H., Jenkinson, D. J., ... & Rakow, T. (2006). *Uncertain judgements: eliciting experts' probabilities*. John Wiley & Sons.

Oniśko, A., Druzdzel, M. J., & Wasyluk, H. (2001). Learning Bayesian network parameters from small data sets: Application of Noisy-OR Gates, *International Journal of Approximate Reasoning*, *27* (2), 165-182.

Öberg, B., 1979, Rail Haulage Systems in Underground Mines, International Conference on Mining Machinery, 1979 (Preprints of papers).

Pearl, J. (2000). Causality: models, reasoning, and inference. *Cambridge University Press. ISBN 0*, *521*(77362), 8.

Pearl, J. (1988). On probability intervals. *International Journal of Approximate Reasoning*, *2*(3), 211-216.

Pimentel, B. S., Gonzalez, E. S., & Barbosa, G. N. (2016). Decision-support models for sustainable mining networks: fundamentals and challenges. *Journal of Cleaner Production*, *112*, 2145-2157.

Press, S. J. (2003). *Subjective and objective Bayesian statistics: principles, models, and applications* (Vol. 590). John Wiley &Sons.

Renooij, S. (2001). Probability elicitation for belief networks: issues to consider. *The Knowledge Engineering Review*, *16* (3), 255-269.

Rockette, H. E., Gur, D., & Metz, C. E. (1992). The use of continuous and discrete confidence judgments in receiver operating characteristic studies of diagnostic imaging techniques, *Investigative Radiology*, *27* (2), 169-172.

Samantra, C., Datta, S., & Mahapatra, S. S. (2016). Analysis of occupational health hazards and associated risks in fuzzy environment: a case research in an Indian underground coalmine. *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, 1-17.

Samantra, C., Datta, S., & Mahapatra, S. S. (2015). A risk-based decision support framework for selection of appropriate safety measure system for underground coal mines, *International Journal of Injury Control and Safety Promotion*, *24* (1), 54-68.

Sanmiquel, L., Rossell, J. M., & Vintró, C. (2015). Study of Spanish mining accidents using data mining techniques, *Safety Science*, *75*, 49-55

Sarmiento, M., Giraldo, B. H., Ayala, H., Uran, A., Soto, A. C., & Martinez, L. (2013). Characteristics and challenges of Small-scale Gold Mining in Colombia, *Small-Scale Gold Mining*, 46.

Senol, Y. E., Aydogdu, Y. V., Sahin, B., & Kilic, I. (2015). Fault tree analysis of chemical cargo contamination by using fuzzy approach, *Expert Systems with Applications*, *42* (12), 5232-5244.

Shahriar, A., Sadiq, R., & Tesfamariam, S. (2012). Risk analysis for oil & gas pipelines: A sustainability assessment approach using fuzzy based bow-tie analysis, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *25* (3), 505-523.

Sharma, S. K. (2016). Risk adjusted total cost of ownership model for strategic sourcing decisions, *International Journal of Procurement Management*, *9* (2), 123-145.

Shephard, G. G. & Kirkwood, C. W. (1994). Managing the judgmental probability elicitation process: a case study of analyst/manager interaction, *IEEE Transactions on Engineering Management*, *41* (4), 414-425.

Solomon, I. (1982). Probability assessment by individual auditors and audit teams: An empirical investigation, *Journal of Accounting Research*, 689-710.

Spetzler, C. S. & Stael von Holstein, C. A. S. (1975). Exceptional paper—Probability encoding in decision analysis, *Management Science*, *22* (3), 340-358.

Stanton, D. W., Belle, B. K., Dekker, K. J., & Du Plessis, J. J. (2006). South African mining industry best practice on the prevention of silicosis, *Mine Health and Safety Council*.

Steyvers, M., Tenenbaum, J. B., Wagenmakers, E. J., & Blum, B. (2003). Inferring causal networks from observations and interventions, *Cognitive Science*, *27* (3), 453-489.

Suppen, N., Carranza, M., Huerta, M., & Hernández, M. A. (2006). Environmental management and life cycle approaches in the Mexican mining industry, *Journal of Cleaner Production*, *14* (12-13), 1101-1115.

Tang, C., Yi, Y., Yang, Z., & Sun, J. (2016). Risk analysis of emergent water pollution accidents based on a Bayesian Network, *Journal of Environmental Management*, *165*, 199-205.

Tatar, Ç. ve Özfırat, M. K. (2003). Yeraltı maden makinaları ve mekanizasyonu. *Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Yayınları*.

Tong, X., Fang, W., Yuan, S., Ma, J., & Bai, Y. (2018). Application of Bayesian approach to the assessment of mine gas explosion. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *54*, 238-245.

Tversky, A. & Kahneman, D. (1974). Judgment under uncertainty: Heuristics and biases, *Science*, *185* (4157), 1124-1131.

Url-1 <https://sozluk.gov.tr/?kelime=ocak%20kaşı> erişim tarihi, 5.08.2016.

Url-2<http://www.etimaden.gov.tr/maden-terimleri-sozlugu/o-harfi-ile-baslayanlar-2> erişim tarihi, 8.08.2015.

Url-3<http://www.etimaden.gov.tr/maden-terimleri-sozlugu/t-harfi-ile-baslayanlar>, erişim tarihi, 15.05.2016.

Url-4<http://www.etimaden.gov.tr/maden-terimleri-sozlugu/g-harfi-ile-baslayanlar, erişim tarihi, 13.02.2016.

Url-5<https://mountainscholar.org/bitstream/handle/11124/5657/E0104.jpg?sequence=1&isAllowed=y>, erişim tarihi 12.11.2019.

Url-6<http://www.miningmes.com/remote-control-system/Intelligent-mining-line-of-sight-LHD-radio-remote-control-system.html>, erişim tarihi 25.10.2019.

Url-7<*http://www.miningmes.com/remote-control-system/Intelligent-mining-line-of-sight-LHD-radio-remote-control-system.html>,* erişim tarihi 25.10.2019.

Url-8<https://www.directindustry.com/prod/epiroc/product-59040-1588007.html>, erişim tarihi 23.11.2019.

Url-9<https://www.youtube.com/watch?v=1XkioFHJgDA>, erişim tarihi 23.11.2019.

Van der Gaag, L. C., Renooij, S., Witteman, C. L. M., Aleman, B. M., & Taal, B. G. (2002). Probabilities for a probabilistic network: a case study in oesophageal cancer, *Artificial Intelligence in Medicine*, *25* (2), 123-148.

Veritas N., (2003). Risk management in marine-and subsea operations. Det Norske Veritas, Høvik

Verma, S., & Chaudhari, S. (2017). Safety of workers in Indian mines: study, analysis, and prediction, *Safety and health at work*, *8* (3), 267-275.

Wang, H. (2004). *Building Bayesian networks: elicitation, evaluation, and learning*. (Doctoral dissertation). University of Pittsburgh, Pennsylvania. Retrived from http://d-scholarship.pitt.edu/10084/

Wang, H. & Druzdzel, M. J. (2000, June). User interface tools for navigation in conditional probability tables and elicitation of probabilities in Bayesian networks. In *Proceedings of the Sixteenth Conference on Uncertainty in Artificial Intelligence* (pp. 617-625). Morgan Kaufmann Publishers Inc.

Wang, D., Zhang, P., & Chen, L. (2013). Fuzzy fault tree analysis for fire and explosion of crude oil tanks, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *26* (6), 1390-1398.

Wang, Y. L., Sun, Y. N., Zhai, X. X., & Wang, Z. F. (2011). Study on New Drilling Technology in Soft and Outburst Seam [J], *Journal of Mining & Safety Engineering*, *2*.

Weber, P., & Simon, C. (2016). *Benefits of Bayesian Network Models*. Wiley-ISTE.

Winkler, R. L. (1968). The consensus of subjective probability distributions. *Management Science*, *15*(2), B-61.

Winkler, R. L. & Poses, R. M. (1993). Evaluating and combining physicians' probabilities of survival in an intensive care unit, *Management Science*, *39* (12), 1526-1543.

Woods, C. M., Chambless, D. L., & Steketee, G. (2002). Homework compliance and behavior therapy outcome for panic with agoraphobia and obsessive compulsive disorder, *Cognitive Behaviour Therapy*, *31* (2), 88-95.

Wu, J., Zhou, R., Xu, S., & Wu, Z. (2017). Probabilistic analysis of natural gas pipeline network accident based on Bayesian network, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *46*, 126-136.

Xu, Q. & Xu, K. (2018). Risk assessment of rail haulage accidents in inclined tunnels with Bayesian network and bow-tie model, *Current Science*, *12*, 2530-2538

Xue, S. S., Li, X. C., & Xu, X. Y. (2016). Fault tree and Bayesian network based scraper conveyer fault diagnosis. In *Proceedings of the 22nd International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management 2015* (pp. 783-795). Atlantis Press, Paris.

Yaşlı F. & Dönmezer S. 2014. Multi-Criteria Inventory Classification in Mining Sector By Using The Fuzzy AHP-DEA Approach, *18th International Working Seminar on Production Economics*, 2014 Innsbruck, Austria.

Yazdi, M., Nikfar, F., & Nasrabadi, M. (2017). Failure probability analysis by employing fuzzy fault tree analysis, *International Journal of System Assurance Engineering and Management*, *8* (2), 1177-1193.

Yeraltı ve Yerüstü Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Rehberi. (2011). *T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı.* Yayın No 43.

Yuhua, D. & Datao, Y. (2005). Estimation of failure probability of oil and gas transmission pipelines by fuzzy fault tree analysis, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, *18* (2), 83-88.

Zarei, E., Azadeh, A., Khakzad, N., Aliabadi, M. M., & Mohammadfam, I. (2017). Dynamic safety assessment of natural gas stations using Bayesian network, *Journal of Hazardous Materials*, *321*, 830-840.

Zhang, M., Kecojevic, V., & Komljenovic, D. (2014) Investigation of haul truck-related fatal accidents in surface mining using fault tree analysis, *Safety Science, 65*, 106–117.

Zhang, G., Thai, V. V., Yuen, K. F., Loh, H. S., & Zhou, Q. (2018). Addressing the epistemic uncertainty in maritime accidents modelling using Bayesian network with interval probabilities, *Safety Science*, *102*, 211-225.

Zuñiga, R., Wuest, T., & Thoben, K. D. (2015). Comparing mining and manufacturing supply chain processes: challenges and requirements, *Production Planning & Control*, *26* (2), 81-96.

ÖZGEÇMİŞ



Ad-Soyad : Fatma

Doğum Tarihi ve Yeri : Yaşlı

E-posta : fyasli@itu.edu.tr ; fatmayasli@yahoo.com.tr

ÖĞRENİM DURUMU:

- **Lisans** : 2008, İstanbul Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü
- **Yükseklisans** : 2011, İstanbul Teknik Üniversitesi, İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı, İşletme Mühendisliği Programı

MESLEKİ DENEYİM VE ÖDÜLLER:

- 2009-2013 yılları arasında Anadolu Üniversitesi Eskişehir Meslek Yüksekokulu'nda Lojistik Bölümü'nde çalıştı.
- 2013-2019 yılları arasında Eskişehir Teknik Üniversitesi Ulaştırma Meslek Yüksekokulu'nda Raylı Sistemler İşletmeciliği programında çalıştı.

DOKTORA TEZİNDEN TÜRETİLEN YAYINLAR, SUNUMLAR VE PATENTLER:

- **Yaşlı F.**, Bolat B. 2018. A Risk Analysis Model For Mining Accident Using Fault Tree Analysis And Fuzzy Approach, *Journal of Enterprise Information Management*, 31(4), pp. 577-594.
- **Yaşlı F.,** Bolat B**.** 2018. Reappraisal of Risk Analysis Using Bayes Network, *Ulusal Yöneylem Araştırması ve Endüstri Mühendisliği Kongresi*, Haziran 26-29, 2018 Eskişehir, Türkiye.
- **Yaşlı F.,** Bolat B. 2018. A Bayesian Network Analysis for Occupational Accidents of Mining Sector. In Durakbasa N., Gencyilmaz M. (Eds*), ISPR 2018, Proceedings of the International Symposium for Production Research*, (pp.781-799). Springer, Cham.

- **Yaşlı F.**, Bolat B. 2016. Yeraltı Krom Madeni Kazalarının Bulanık Hata Ağacı Analizi ile İncelenmesi. *Üretim Araştırmaları Sempozyumu,* Ekim 12-14, 2016 İstanbul, Türkiye.
- **Yaşlı F.**, Bolat B. 2016. A Conceptual Framework For Sustainable Mining Sector-Evaulating Automation Technologies and Safety Risk, *19. International Working Seminar on Production Economics,* February 22-26, 2016 Innsbruck, Austria.
- **Yaşlı F.**, Bolat B. 2015. Sürdürülebilir Madencilik Sektörü için Bulanık-Ahp Yöntemi ile Süreç Teknolojisi Değerlendirmesi, *Electronic Journal of Occupational Improvement and Research*, (3), 155-170.
- **Yaşlı F.**, Bolat B. 2015. Sürdürülebilir Tedarik Zinciri Yönetimi: Türkiye Maden Endüstrisi İncelemesi, *IV. Ulusal Lojistik ve Tedarik Zinciri Kongresi*, Mayıs 21-22, 2015 Gümüşhane, Türkiye.
- **Yaşlı F.**, Dönmezer S. 2014. Multi-Criteria Inventory Classification in Mining Sector By Using The Fuzzy AHP-DEA Approach, *18th International Working Seminar on Production Economics*, February 24-28, 2014 Innsbruck, Austria.