



**T.C.
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**BİR YERALTI TAŞKÖMÜRÜ MADENİNDE
GÖÇÜK VE TAŞ-KAVLAK DÜŞMESİ KAZALARININ
KÖK NEDENLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Cansu DİREK

(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)

ANKARA-2016

**T.C.
ÇALIŞMA VE SOSYAL GÜVENLİK BAKANLIĞI
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ**

**BİR YERALTI TAŞKÖMÜRÜ MADENİNDE
GÖÇÜK VE TAŞ-KAVLAK DÜŞMESİ KAZALARININ
KÖK NEDENLERİNİN ARAŞTIRILMASI**

Cansu DİREK

(İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi)

Tez Danışmanı

Burak YASUN

ANKARA-2016

T.C.
Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
İş sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü

O N A Y

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü
İş Sağlığı ve Güvenliği Uzman Yardımcısı Cansu DİREK,
Burak YASUN danışmanlığında başlığı “**Bir Yeraltı Taşkömürü Madeninde
Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi Kazalarının Araştırılması**” olarak teslim edilen bu tezin
savunma sınavı 02/06/2016 tarihinde yapılarak aşağıdaki jüri üyeleri tarafından “**İş Sağlığı ve
Güvenliği Uzmanlık Tezi**” olarak kabul edilmiştir.

Müsteşar Yardımcısı
Dr. Serhat AYRIM
JÜRİ BAŞKANI

Genel Müdür
Kasım ÖZER
ÜYE

Genel Müdür Yardımcısı
İsmail GERİM
ÜYE

Genel Müdür Yardımcısı
Dr. H. N. Rana GÜVEN
ÜYE

Prof. Dr. Yasin Dursun SARI
ÜYE

Jüri tarafından kabul edilen bu tezin İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi olması için
gerekli şartları yerine getirdiğini onaylıyorum.

Kasım ÖZER
İSGGM Genel Müdürü

TEŞEKKÜR

Çalışma hayatım, mesleki açıdan yetişmem ve uzmanlık tezi çalışmalarımı hazırlama aşamasındaki değerli katkılarından dolayı Müsteşar Yardımcımız Sayın Dr. Serhat AYRIM'a, Genel Müdürümüz Sayın Kasım ÖZER'e, Genel Müdür Yardımcılarımız Sayın Dr. Havva Nurdan Rana GÜVEN'e, Sayın İsmail GERİM'e ve Sayın Sedat YENİDÜNYA'ya, tez süreci boyunca teknik katkıları ile beraber ilgisi ve desteği ile bana yol gösteren tez danışmanım İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanı Sayın Burak YASUN'a, yine teknik katkıları, rehberliği ve güveni için Sayın Doç. Dr. Nuray DEMİREL'e, saha ziyaretlerimdeki yardımları için TTK İş Güvenliği ve Eğitim Daire Başkanı Sayın Ahmet SARIALİOĞLU'na ve saha ziyaretindeki yardımları ve verdiği bilgiler ve yönlendirmeler için Maden Mühendisi Sayın Sadık SARİMEHMET'e, çalışmam süresince destek ve katkılarından yararlandığım değerli çalışma arkadaşlarıma, bana olan inançları için kıymetli aileme ve son olarak verdiği sonsuz destek ve anlayış için H. Ulaş ATEŞ'e teşekkürlerimi sunarım.

ÖZET

Cansu DİREK

Bir Yeraltı Taşkömürü Madeninde Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi Kazalarının Kök Nedenlerinin Araştırılması

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü

İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi

Ankara, 2016

Kömür enerji üretiminde uluslararası en çok kullanılan kaynaklardan biridir. Ancak kömür madenciliği hem dünyada hem Türkiye’de en fazla iş kazasının yaşandığı sektörlerden biridir. Yeraltı kömür madenciliğinde yaşanan kazaların önemli nedenlerinden biri göçük ve taş-kavlak düşmesidir. Türkiye’de bu kazaların en fazla yaşandığı bölgelerden biri yeraltı taşkömürü işletmeleridir. Bu çalışmada göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının nedenlerinin tespit edilebilmesi amacıyla Zonguldak kömür havzasında bulunan işletmelerde meydana gelen kazalar incelenmiştir. Bu işletmeler arasından seçilen bir yeraltı taşkömürü işletmesinde 2000-2014 yılları arasında meydana gelen, ağır yaralanma ve ölümle sonuçlanan göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının kök nedenleri Hata Ağacı Analizi metodu kullanılarak belirlenmiştir. Meydana gelen her kazanın birden fazla nedenin bir araya gelmesinden dolayı olduğu göz önünde bulundurularak her bir kazaya sebep olan nedenler çevresel ve jeolojik nedenler, yönetsel hatalar, mühendislik hataları ve çalışan hataları olarak dört ana başlık altında incelenmiştir. Hata Ağacı Analizi sonucunda bu dört ana başlık altında ara olaylar ve kök-nedenler tespit edilmiş ve bu kök-neden içinde belirlenen temel olayların neden olduğu kazalar arasındaki gün farkları doğrultusunda olasılık dağılımları Weibull++7 programı kullanılarak belirlenmiştir. Hata ağacı ise Blocksim-7 programı kullanılarak oluşturulmuştur. Belirlenen olasılık dağılımlarına göre göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarını etkileyen en önemli temel olaylar tespit edilmiştir. Analiz sonucunda İSG eğitimleri ve pratik eğitimlerdeki eksikliklerin bu kazalara en fazla neden olan olaylar olduğu ve bunu tecrübesiz çalışanların tehlikeli görevlerde çalıştırılması, mevcut risk değerlendirmesinin yetersiz olması ve çalışanların kaza yatkınlıklarının takip ettiği görülmüştür.

Anahtar kelimeler: iş sağlığı ve güvenliği (İSG), yeraltı taşkömürü madenciliği, Hata Ağacı Analizi, göçük, taş-kavlak düşmesi, tahkimat sistemleri

ABSTRACT

Cansu DİREK

Investigation of Root Causes of Roof and Rib Fall Accidents in an Underground Hard Coal Mine

Ministry of the Labor and Social Security, Directorate General of Occupational Health and Safety

Thesis for Occupational Health and Safety Expertise

Ankara, 2016

Coal is one the most widely used energy source internationally. However, coal mining is one of the sectors that experienced the highest number of occupational accidents both in world and in Turkey. One of the major causes of occupational accidents in underground coal mining is roof and rib falls. One of the areas where most of these accidents occurred in Turkey is underground hard coal mines. In this study, in order to determine the reasons of roof and rib fall accidents, underground coal mines in Zonguldak coal basin are investigated. Root causes of roof and rib fall accidents resulted with major injury and fatality that occurred between 2000 and 2014 are determined by using Fault Tree Analysis in one of these selected mines. Every accident is considered to be occurred by more than one reason and these accidents are evaluated under four main titles namely; geological and environmental reasons, administrative errors, engineering errors and human errors. As a result of Fault Tree Analysis, main events, intermediate events and root causes are determined. Probability distribution of the basic causes within these root causes are determined by using Weibull++7 software from the difference between days of accidents. Fault tree is constructed by using Blcoksim-7 software. Most significant basic events are determined according the probability distributions and relations between the events in the fault tree. Analysis results show that most significant events that cause roof and rib fall accidents are inefficiency in OHS and job trainings. Other causes are found occupation of inexperienced workers in hazardous tasks, inefficient risk analysis and accident proneness.

Key words: occupational health and safety (OHS), underground hard coal mining, Fault Tree Analysis, roof fall, rib fall, support systems

İÇİNDEKİLER

ÖZET	ii
ABSTRACT	iii
İÇİNDEKİLER.....	iv
TABLoların LİSTESİ.....	vi
RESİMLERİN LİSTESİ	vii
ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	viii
GRAFİKLERİN LİSTESİ.....	ix
SİMGE VE KISALTMALAR.....	x
1. GİRİŞ	1
2. GENEL BİLGİLER	3
2.1. TÜRKİYE’DE KÖMÜR MADENCİLİĞİ	3
2.1.1. Türkiye’de Taşkömürü Madenciliği	4
2.1.2. Yeraltı Taşkömürü İşletme Metotları	5
2.1.3. Yeraltı Taşkömürü Madenlerinde Uygulanan Tahkimatlar	8
2.2. KÖMÜR MADENLERİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ	13
2.2.1. Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi.....	15
2.2.2. Göçük Oluşumunu ve Taş-Kavlak Düşmesini Tetikleyen Nedenler	16
2.3. RİSK DEĞERLENDİRMESİ	28
3. GEREÇ VE YÖNTEMLER.....	31
3.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE GENEL BİLGİLER.....	31
3.2. İŞLETME HAKKINDA GENEL BİLGİLER.....	39
3.3. HATA AĞACI ANALİZİ	45
4. BULGULAR.....	49
4.1 HATA AĞACI ANALİZİ (HAA) UYGULAMASI.....	49
4.1.1. Çevresel ve Jeolojik Nedenler (A)	54
4.1.2. Mühendislik Hataları (B)	56
4.1.3. Yönetimsel Hatalar (C)	61
4.1.4. Çalışan Hataları (D).....	69

4.2. NİCEL HATA AĞACI ANALİZİ	74
5. TARTIŞMA.....	83
6. SONUÇ VE ÖNERİLER	89
KAYNAKLAR	95
ÖZGEÇMİŞ.....	101
EKLER.....	103

TABLoların LİSTESİ

Tablo	Sayfa
Tablo 2.1. Türkiye’de Kömür Çıkartılması Faaliyetinde Bulunan İşyeri ve Çalışan Sayıları.....	3
Tablo 2.2. Taşkömürü ve Linyit Madenciliğinde Yaşanan Kazalar.....	14
Tablo 3.1. Toplam ve Göçük-Taş/Kavlak Düşmesi Kaza Sayıları.....	31
Tablo 3.2. Kaza Sonuçlarına Göre Kaza Sayıları ve Kayıp Gün Toplamı.....	34
Tablo 3.3. – En Çok Kullanılan Boolean Denklemleri.....	47
Tablo 3.4. Hata Ağacı Analizinde Kullanılan Olaylar ve Kapılar.....	48
Tablo 4.1. Hata Ağacı Analizinde Yer Alan Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi Nedenleri.....	51
Tablo 4.2. Kaza Geçirme Sayısına Göre Kaza Geçiren Çalışan Yüzdeleri Ve Kümülatifleri...	71
Tablo 4.3. Kazaların Tecrübeye Göre Dağılımı.....	72
Tablo 4.4. Temel Olaylar, Kazaları Etkileme Oranları ve Olasılık Dağılımları.....	75
Tablo 4.5. Temel Olayların Ortalama Zamandaki Başarısızlık İhtimalleri.....	78

RESİMLERİN LİSTESİ

Resim	Sayfa
Resim 2.1. Kurtağzı Örneği.....	10
Resim 2.2. Eksik Kama Sonucunda Deformasyona Uğramış Tavan Tahkimatı.....	20
Resim 3.1. Yeraltı Taşkömürü İşletmesine Gerçekleştirilen Saha Ziyareti.....	33
Resim 3.2. Weibull++7 Programı Kullanımı Ekran Resmi.....	35
Resim 3.3. Şişme Hava Yastıklı Pnömatik Domuzdamı.....	40
Resim 3.4. T-H Bağlı Demir Tahkimat Örneği.....	41
Resim 3.5. Çelik Tahkimat Örneği.....	41
Resim 3.6. Ağaç Tahkimat Örneği.....	41
Resim 4.1. Çalışma Alanından Uygun Olmayan Tahkimat Örneği.....	63
Resim 4.2.a. Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi Kazalarının Ortalama Zamanı.....	77
Resim 4.2.b. Sistemin Ortalama Zamana Göre Başarısızlık İhtimali.....	77
Resim 4.3. %100 İhtimalle Göçük, Taş-Kavlak Düşmesi Kazasının Beklendiği Zamanın Tespiti.....	80

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

Şekil	Sayfa
Şekil 2.1. Türkiye Kömür Sahaları.....	4
Şekil 2.2. Zonguldak Taşkömürü Havzası.....	4
Şekil 2.3. Dönümlü/İlerletimli Göçertmeli Uzunayak Yöntemiyle Kömür Kazısı.....	7
Şekil 2.4. Uzunayak Tahkimatı Perspektif Görüntüsü.....	10
Şekil 2.5. Fırça ve Kama Örneği.....	11
Şekil 2.6. Yatay açılmış dairesel bir tünel etrafındaki gerilmeler.....	18
Şekil 2.7.a. Tavan Çatlağı Olması Durumu Örneği.....	22
Şekil 2.7.b. Tavanda Kömür Yükselmesi Örneği.....	22
Şekil 3.1. Tez Akış Şeması.....	38
Şekil 3.2. Hata Ağacı Analizi Akış Şeması.....	46
Şekil 4.1. Ana Nedenleri Gösteren Hata Ağacı.....	50
Şekil 4.2. Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesinden Kaynaklanan Kazaların Hata Ağacı.....	53
Şekil 4.3. Çevresel ve Jeolojik Nedenler Hata Ağacı.....	55
Şekil 4.4. Mühendislik Hataları Hata Ağacı.....	57
Şekil 4.5. Yönetimsel Hatalar Hata Ağacı.....	62
Şekil 4.6. Çalışma Koşullarının Uygun Olmaması Hata Ağacı.....	68
Şekil 4.7. Çalışan Hatası Hata Ağacı.....	70
Şekil 4.8. Temel Olayları Gösteren Hata Ağacı.....	76

GRAFİKLERİN LİSTESİ

Grafik	Sayfa
Grafik 3.1. Göçük ve Taş/Kavlak Düşmesi Kazalarının Yıllara Göre Dağılımı.....	42
Grafik 3.2. Göçük ve Taş/Kavlak Düşmesi Kazaları Esnasında Yapılan İşler.....	43
Grafik 3.3. Kaza Geçiren Çalışanlarının Tecrübelerine Göre Dağılımı.....	44
Grafik 3.4. Kaza Geçiren Çalışanların Yaşa Göre Dağılımı.....	45
Grafik 4.1. Aylara Göre Göçük ve Taş/Kavlak Düşmesi Kaza Sayıları.....	55
Grafik 4.2. Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi Nedeniyle Yaralanan Uzunlar.....	65
Grafik 4.3. Pratik Eğitimlerdeki Yetersizliklerin Kazalar Esnasında Yapılan İşlere Göre Dağılımı.....	67
Grafik 4.4. Temel Olaylar ve Sistemin Zamana Göre Başarısızlık İhtimali Grafiği.....	79
Grafik 4.5. Ortalama Zamandaki Statik Güvenilirlik Önemliliğine Göre İlk 10 Olay.....	81
Grafik 4.6. 42 Gündeki Statik Güvenilirlik Önemliliğine Göre İlk 10 Olay.....	82

SİMGE ve KISALTMALAR

HAA	Hata Ağacı Analizi
HSE	Health and Safety Executive (Sağlık ve Güvenlik İdaresi)
IEA	International Energy Agency (Uluslararası Enerji Ajansı)
ILO	International Labor Organization (Uluslararası Çalışma Örgütü)
KKD	Kişisel Koruyucu Donanım
MSHA	Mine Safety and Health Administration (Maden Güvenlik ve Sağlık Dairesi)
NIOSH	The National Institute for Occupational Safety and Health (Amerikan Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Enstitüsü)
PROP	Preventive Roof/RIB Outreach Program (Taş ve Kavlak Düşmelerini Önleme Programı)
SGK	Sosyal Güvenlik Kurumu
TTK	Türkiye Taşkömürü Kurumu
WHO	World Health Organization (Dünya Sağlık Örgütü)
β	Beta
η	Eta
γ	Gamma
∂	Kısmi türev
λ	Lambda
μ	Mu
σ	Sigma
t	Zaman

1. GİRİŞ

Kömür enerji üretiminde uluslararası olarak en çok kullanılan kaynak olmakla birlikte, kömür madenciliği hem dünyada hem Türkiye’de en fazla iş kazasının yaşandığı sektörlerden biridir [1, 2]. Bununla birlikte dünya çapında yedi milyondan fazla kişi bu alanda istihdam edilmektedir [1]. Türkiye’de ise son beş yılda kömür madenciliği sektöründe yaklaşık 48 500 kişi istihdam edilmiştir [2]. Kömür madenciliğinde Türkiye’de linyit ve taşkömürü madenciliği olarak uygulanmaktadır [3]. Türkiye’de taşkömürü Zonguldak kömür havzasında bulunmakta ve burada taşkömürü yeraltı madencilik yöntemleriyle çıkarılmaktadır [4].

Taşkömürü madenciliği İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği’nde “çok tehlikeli” sınıfta yer almaktadır [5]. Dünyada yeraltı kömür madenlerinde yaşanan kazalar incelendiğinde, en fazla yaşanan kaza nedenlerinden birinin göçük ve taş-kavlak düşmeleri olduğu görülmüştür. Aynı durum Türkiye için de geçerlidir. Zonguldak kömür havzasında bulunan yeraltı taşkömürü madenlerinde son on beş yılda en fazla iş kazasının göçük ve taş-kavlak düşmeleri nedeniyle olduğu görülmüştür. Bu nedenle yeraltı taşkömürü madenlerinde yaşanan göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının nedenlerinin detaylı olarak incelenmesi, bu işyerlerindeki çalışma koşullarının ve iş sağlığı ve güvenliği (İSG) şartlarının değerlendirilmesi gerekmektedir.

Meydana gelen kazaların incelenmesinde kullanılan en iyi yöntemlerden biri hata ağacı analizidir (HAA). Kaza araştırmaları tündengelim analizleridir ve hata ağacı analizi de genel olarak kaza araştırmalarında kazaların temel nedenlerinin bulunması amacıyla uygulanır [6]. Hata ağacı analizi istenmeyen tepe olaya neden olan etmenlerin bulunması şeklinde uygulanır. Ağacın oluşturulmasıyla nedenler arasındaki ilişkilerin görülmesi ve kök nedenlerin bu şekilde tespit edilmesi daha kolaydır [7]. Bu amaçla Zonguldak kömür havzasında faaliyet gösteren bir yeraltı taşkömürü işletmesinde oluşan göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının kök nedenlerinin tespit edilebilmesi için Hata Ağacı Analizi metodu uygulanmıştır.

Bu tez çalışması kapsamında kömür madenciliği, yeraltı taşkömürü madenciliğinde uygulanan metotlar ve kullanılan tahkimat çeşitleri, kömür madenlerinde yaşanan kazalar ve meydana gelebilecek tehlikeler Genel Bilgiler kısmında anlatılmıştır. Bu bölümde ayrıca göçük ve taş-kavlak düşmeleri ve bunları tetikleyebilecek nedenlere de detaylı olarak yer verilmiştir. Aynı zamanda bu kazaların nedenlerinin incelenmesi amacıyla risk değerlendirmesine değinilerek, zemin kontrollerinin yapılabilmesi için tehlikelerin tespit edilebilmesi ve bunun

için risk değerlendirmesine ihtiyaç duyulduğu anlatılmıştır. Gereç ve Yöntemler bölümünde çalışmanın gerçekleştiği Zonguldak kömür havzasında bulunan işletmelerde ve özellikle seçilen işletmede yaşanan göçük ve taş-kavlak düşmesi kazaları anlatılarak, bu kazaların nedenlerinin tespit edilebilmesi için uygulanan adımlar ve kullanılan programlar anlatılmış, işletme hakkında genel bilgiler verilmiş ve kullanılan Hata Ağacı Analizi yöntemi detaylı bir şekilde anlatılmıştır. Bulgular bölümünde Hata Ağacı Analizi uygulaması gösterilerek, oluşturulan hata ağacının bölümleri detaylı bir şekilde anlatılmış, hata ağacında bulunan nedenlerle yaşanan kazaların aralarındaki gün farklarıyla hesaplanan dağılımları anlatılarak, hata ağacı analizi sonuçları anlatılmıştır. Tartışma bölümünde ise bu tez çalışması kapsamında hata ağacı analizi sonucunda elde edilen sonuçlar literatürde rastlanan benzer sonuçlarla karşılaştırılarak benzerlikler ve farklılıklar değerlendirilmiştir. Son olarak bu tez çalışmasının sonucunda elde edilen bilgiler Sonuç ve Öneriler bölümünde özetlenmiş ve bulunan sonuçlara karşı belirlenen koruyucu ve önleyici tedbirler anlatılarak göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının önlenbilmesi için yapılacak çalışmalara rehberlik etmek amaçlanmıştır.

2. GENEL BİLGİLER

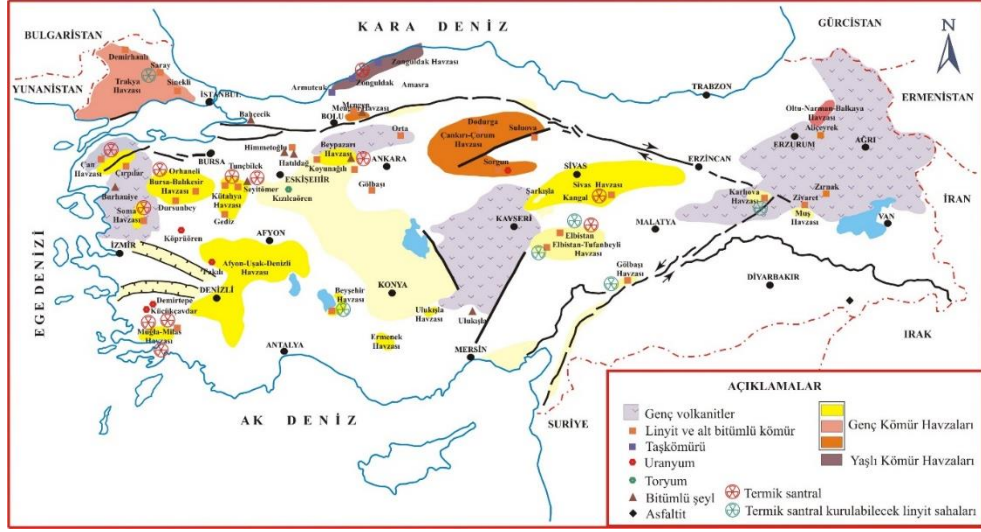
2.1. TÜRKİYE’DE KÖMÜR MADENCİLİĞİ

Dünya endüstriyel ham madde rezervlerinin % 2,5’i; kömür rezervlerinin % 1’i; jeotermal potansiyelinin % 0,8’i ve metalik maden rezervlerinin % 0,4’ü Türkiye’de bulunmaktadır [8]. Kömür, elektrik üretiminde uluslararası olarak en çok kullanılan enerji kaynağı olması nedeniyle birçok ülkenin ekonomisi için büyük önem taşımaktadır [9]. Kömür dünyada enerji ihtiyacının %30’unu karşılamakta ve yedi milyondan fazla kişi kömür madenciliği sektöründe çalışmaktadır [1]. Türkiye’de kömür ve linyit işlerinde çalışan sayısına bakıldığında ise Sosyal Güvenlik Kurumu’nun (SGK) yayımlamış olduğu istatistik yıllıklarına göre 2010 – 2014 yılları arasında, Tablo 2.1.’den de görülebileceği üzere, ortalama 730 taşkömürü ve linyit işletmesi ve bu işletmelerde çalışan ortalama 48 504 çalışan bulunmaktadır [2]. Uluslararası Enerji Ajansının (IEA) 2012 verilerine göre Türkiye, 2009-2012 yılları arasında kömür üreticisi ülkeler arasında 12. ve linyit üreticisi ülkeler arasında ise 4. sırada yer almıştır [10]. Taşkömürü üretimine bakıldığında ise, 1980’lerin başında taşkömürü ihtiyacının %80’i, 1980-1990 yılları arasında %45’i yerel kaynaklardan sağlanırken, 2010 yılında bu ihtiyacın yalnızca %9,8’i yerel kaynaklardan sağlanmıştır [3].

Tablo 2.1. Türkiye’de Kömür Çıkartılması Faaliyetinde Bulunan İşyeri ve Çalışan Sayıları [2]

Yıl	İşyeri Sayısı	Sigortalı Çalışan Sayısı
2014	717	41 058
2013	740	48 706
2012	756	50 949
2011	740	51 662
2010	697	50 143
Ortalama	730	48 504

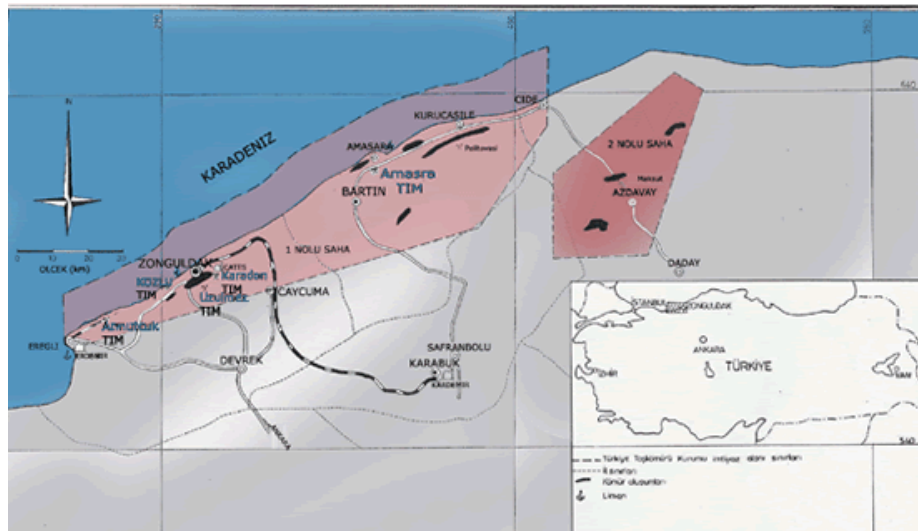
Türkiye’de 2010 itibarıyla 1 126 548 000 ton iyi kalite taş kömürü ve $12 * 10^9$ ton linyit rezervi bulunmaktadır [8]. Türkiye’deki kömür sahaları ve potansiyel kullanım alanlarını gösteren harita Şekil 2.1.’de verilmektedir. Üretim açık ocak ve yeraltı madenciliği şeklinde gerçekleşmektedir. Linyit yaygın olarak hemen her bölgede çıkartılmaktadır. Ancak özellikle Manisa-Soma, Kütahya-Tavşanlı, Tunçbilek, Amasya-Çeltek önemli linyit rezervlerinin bulunduğu bölgelerdir. Taşkömürü ise Türkiye’nin tek taşkömürü havzası olan Zonguldak kömür havzasından çıkartılmaktadır [3].



Şekil 2.1. Türkiye Kömür Sahaları [11]

2.1.1. Türkiye’de Taşkömürü Madenciliği

Taşkömürü Türkiye’de Zonguldak kömür havzasında bulunmaktadır. Bölgede üretim 1983 yılından beri Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK) tarafından yapılmaktadır. TTK tarafından işletilen taşkömürü 3 000 km²’si denizde, 3 885 km²’si karada olmak üzere toplam 6 885 km²’lik bir alanda, beş ayrı müessese şeklinde işletilmektedir [12]. Taşkömürünün Türkiye’deki işletme alanı olan Zonguldak taşkömürü havzasını gösteren harita Şekil 2.2.’de verilmiştir.



Şekil 2.2. Zonguldak Taşkömürü Havzası [12]

Derin yer altı kömür madenciliği yapılan Zonguldak taşkömürü havzasının karmaşık jeolojik yapısı tam mekanizasyona gidilmesini engellemekte, taşkömürü üretimi büyük ölçüde insan gücüne dayalı emek-yoğun bir şekilde konvansiyonel metotlarla gerçekleştirilmektedir. Havzadaki taşkömürü üretimi, 1941 yılından günümüze kadar 231 milyon ton olarak bilinmektedir. Havza tarihi boyunca maksimum tüvönan¹ üretim 1974 yılında 8,5 milyon ton, satılabilir üretim ise 1967 ve 1974 yıllarında beş milyon ton olarak gerçekleştirilmiştir. 1974 yılındaki maksimum beş milyon ton satılabilir üretim değerine kadar, zaman zaman düşüşler gözlenirse de, önemli bir üretim artış eğilimi yakalanmış olan havzada ulaşılan üretim değeri korunamamış, o yıldan sonra azalmaya başlayan satılabilir üretim 1982 yılından sonra dört milyon tonun altına inmiştir [4].

Zonguldak kömür havzasında sadece bitümlü² kömüre rastlanmaktadır. Bitümlü kömürün parçalanmaya müsait tabiatı dolayısıyla üretimin büyük bir yüzdesi toz halindedir [13].

2.1.2. Yeraltı Taşkömürü İşletme Metotları

Kömür havzası kötü şartlarda kıvrılmış, kırılmış ve kompleks bir tabiata sahiptir. Bu durum ocak hazırlıklarının planlanmasında büyük problemlerin ortaya çıkmasına sebep olmaktadır. Taşkömürü üretimi tamamen yeraltında yapılmaktadır. Havzanın jeolojik koşulları nedeniyle mekanize üretim yapılamamakta, emek yoğun insan gücüne dayalı çalışmalar yapılmaktadır. Geçmişten günümüze kadar işletme metotlarını listeleyecek olursak; ara-kat göçertme metodu, kısa-ayak usulüyle ara-kat göçertme metodu, ilerletimli ve dönümlü uzunayak metodu, basamaklı-diyagonal uzunayak metodu, pnömatik ramble³ metodu, hidrolik ramble metodu ve göçertmeli uzun ayak metodu kullanıldığı görülmüştür [13]. Bu metotlardan en çok kullanılmış ve kullanılmakta olanlar bu bölümde kısaca anlatılmaktadır.

Ara kat göçertme metodu 60°'nin üzerinde dik yatımlı kömür damarlarında uygulanan bir sistemdir. Metodun mantığı iki kat arasına bırakılan kömürün kendi ağırlığı ve örtü tabakasının basıncı ile bir alttaki arakat içine göçertilmesi şeklindedir. Pano içinde, ara-kat kılavuzları, yukarıdan aşağıya doğru pano sınırına kadar ilerler ve sonra merkez başyukarı istikametinde

¹Maden ocağından çıkarılan ve herhangi bir zenginleştirme işlemine tabi tutulmamış cevher veya kömür [14]

² Atmosferik ve kimyevi tesirlerden etkilenmeyen, yanıcı karakterde kahverengimsi sarı, kahverengi veya siyah renkli tabii karbonhidratlar karışımı [14]

³Yeraltı imalatında husule gelen boşlukların posta (pasa) veya benzer malzeme ile doldurulması, dolgu [14]

dönümlü bir çalışmaya geçilir; üst dilimin göçertilmesi ile de kömür alınır. Dönümlü çalışmanın pano sınırına gelmesi ile de bir alttaki kömürün göçertilmesi başlar. Ara-kat kılavuzlar üç parçalı tahkimat sistemi ile tahkim edilir. Damar kalınlıklarına bağlı kalınarak, göçertme işlemlerinde domuzdamı tahkimat sistemi kullanılabilir. Kömür çok defa el kazmaları veya martopikörler⁴ ile kazılır ve göçertmede yer çekiminden yararlanır. Ancak dezavantajlarının fazla olması nedeniyle bu metot çok fazla tercih edilmemektedir. Bunun nedeni kömürün göçmesi esnasında tehlike meydana getirerek iş kazası olasılıklarını arttırması, havalandırma sistemine etki edebilmesi nedeniyle kömürün kendiliğinden yanmasına olanak vererek ocak yangınlarına sebep olması ve tahkimat için kullanılan maden direklerinin tüketimini arttırmasıdır [13].

Basamaklı diyagonal uzun ayak metodu 1,5 ile 4,5 metre kalınlık ve 50⁰ ile 90⁰ arasında eğimi olan kömür damarlarında uygulanan bir metottur. Bu metotta basamak arınları⁵ kömür damarının doğrultusuna diktir ve basamaklar birbirlerinden 2,5 metre uzaklıkta ve 2 metre genişliktedir. Zayıf tavan ve taban şartlarının doğurduğu tehlikelere karşı, madencilerin korunmasında basamakların altlarına maden direği ve takozlardan meydana gelen kuvvetli bir tahkimat yapılır. Tabanların iyi şartlarda tutulmaları amacıyla 5x5 metre büyüklüğünde kare şekilli emniyet topukları bırakılır [13].

Uzun ayaklarda pnömatik ramble metodu tavan göçmelerine karşı yerüstü tesislerinin ve ikamet sahalarının korunması, daha verimli hava akımlarının elde edilmesi ve uzunayakta kesintiye uğramadan istihsal⁶ imkânlarının kazanılması amacıyla uygulanan bir yöntemdir. Bu metot kömür damarı içinde 100-150 metre uzunluğunda bir ayak oluşturularak uygulanır. Patlayıcı maddeye çok az ihtiyaç duyulan bu yöntemde kömür kazı için martopikörle haveler⁷ açılarak uygulanır. Kazı esnasında askıda kalan tavan çelik direk ve sarmalarla tahkim edilir. Fay ve sıklmalarda, ayak içindeki faaliyetler domuzdamı tahkimatı ile üstten gelen basınçlara karşı emniyete alınır [13]. İlerletimli ve dönümlü uzun ayak metodu genellikle arın gerisinde kolayca göçebilen tavan şartlarında ve üç metre kalınlığa kadar az-orta yatımlı kömür damarlarında uygulanan bir metottur. Adından da anlaşılacağı üzere hem ilerletimli hem de dönümlü olarak

⁴ Basınçlı hava ile çalışan kazı veya taş sökme makinesi, mekanik kazma [14]

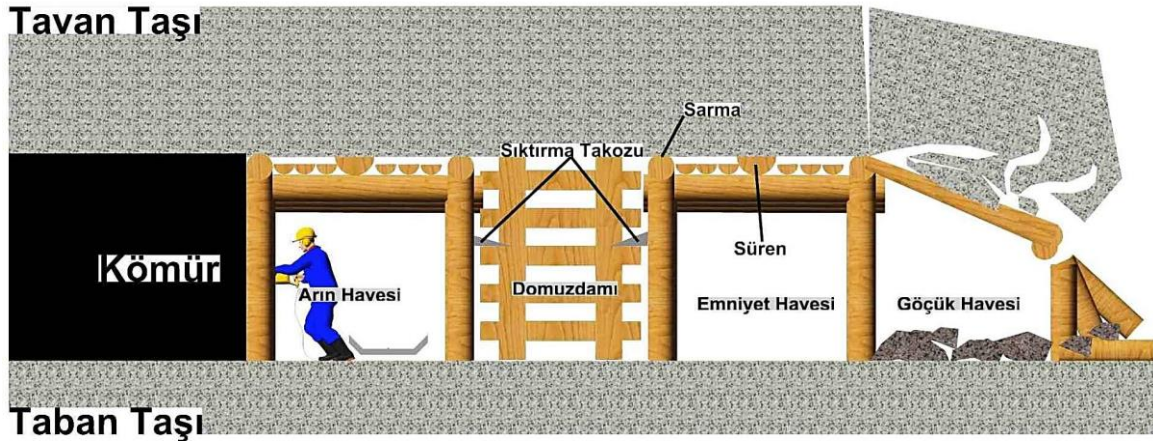
⁵ Ayak, taban veya galeri (lağım, kılavuz, başaşağı, başyukarı vb.) ilerlemelerinde cevher, kömür veya taşa üretim ve ilerleme çalışmalarının yöneldiği dikey yüzey parçası [14]

⁶ Madenin, maden yatağı içerisinde kazılıp çıkarılması işlemi [14]

⁷ Alına paralel sarma kullanılarak çalışılan uzunayaklarda iki sarma eksen arasında, kömür alınma dik olan mesafe [14]

uygulan bu metot, ilerletimli sistemin uygulanması halinde her panoda bir çift taban yolunun sürülmesi ve bunların rekup⁸ lağıma yakın bir noktada birleşmesi ile hazırlanırken, dönümlü sistemde taban yollarının ilerlemeleri esnasında havalandırma amacıyla rekup lağımasının hemen yakınında bir başyukarı sürülmesi ve pano limit hattına ulaşıldığında ikinci bir başyukarı uygulanmasıyla uzun ayak oluşturularak yapılır. İlerletimli sistemde ilk, dönümlüde ise ikinci olarak sürülen başyukarıların uzun ayak haline dönüştürülmesi ile kömür kazısı başlar. Kazma ve martopikörlerle ve sert kömürlerde lâğım atmak⁹ suretiyle kazılan kömür, zincirli konveyörler¹⁰ vasıtasıyla alt taban yoluna nakledilir. Arın ve tavan tahkimatı kömür arınına paralel iki sıra halinde dört metre uzunluğundaki sarmalar altına üç metrelik üç adet maden direğinin yerleştirilmesiyle yapılır. Kolayca ufalanan kömürde meydana gelecek tavan göçüklerindeki kazaları önlemek için kamalar kullanılır. Uzun-ayak gerisinde tavan göçmelerinin kontrol altına alınmasında bir sıra domuzdamı ile bir kırılma-hattı elde edilir. Çelik tahkimat kullanılıyorsa, iki çelik direk üzerine iki metal sarma yerleştirilir. Kötü tavan şartlarına karşı tavan basıncını azaltmak amacıyla domuzdamları kullanılır [13].

Havzada en fazla kullanılan metot ilerletimli-dönümlü göçertmeli uzun ayak metodudur. Şekil 2.3.'de ilerletimli-dönümlü göçertmeli uzun-ayak metodu ile kömür kazısı örneği görülmektedir.



Şekil 2.3. Dönümlü/İlerletimli Göçertmeli Uzunayak Yöntemiyle Kömür Kazısı [15]

⁸Bir galeri boyutlarını haiz, fakat genellikle daha kısa olup, yatak istikametine dik olarak tavan taban arasında veya taban lağımindan, bu lağıma paralel olan bir damarı kesmek üzere sürülen galeri [14]

⁹Lağım deliğine yerleştirilen patlayıcı maddeleri ateşleyerek patlatmak [14]

¹⁰Saç oluk içine dikine yerleştirilmiş bir paletin, uçlarına takılı zincir veya zincirler tarafından hareket ettirilmesiyle, malzemenin sürüklenerek taşınmasını sağlayan konveyör [14]

2.1.3. Yeraltı Taşkömürü Madenlerinde Uygulanan Tahkimatlar

Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğine göre bütün yeraltı işlerinde, taş, toprak, kömür, cevher vb. maddelerin kayma ve düşmelerini önlemek üzere, uygun ve yeterli tahkimat yapılması gerekmektedir [16]. Madenin güvenli ve verimli bir şekilde işletilebilmesi için yeraltı koşulları, kayaçların özellikleri gibi etkenler bilinmeli ve hem uygulanacak yöntemler, hem de kullanılacak tahkimatlar bu doğrultuda seçilmelidir [17]. Derin yeraltı kazılarının duraylılığı açıklık etrafındaki kaya kütlelerinin dayanımına ve bu kaya içinde yoğunlaşan gerilmelere bağlıdır. Bu yoğunlaşmış gerilmeler, kazı alanı şeklinin ve kazıdan önce var olan birincil gerilmelerin bir sonucudur. Önceden var olan birincil gerilmelerin büyüklükleri ölçüm yapılan kaya kütlelerinin jeolojik geçmişine bağlıdır. Bu gerilmelerin kuramsal tahmini güvenilir değildir ve bu nedenle büyük yeraltı kazı tasarımlarında gerçek birincil gerilmelerin ölçülmesi gerekmektedir [18].

Tahkimat sisteminin yeterliliği hakkında karar verme aşamasındaki temel öğeler, aşağıdaki aşamaları içeren gözlemler ve çözümleme işlemleridir. Bunlar [19];

1. Kazının etrafındaki kayada oluşan deformasyonların, açıklık kazısı başlamadan önce yapı galerilerinden yerleştirilen ölçüm noktalarıyla ve ekstansometrelerle¹¹ izlenmesi,
2. Doğrusal olmayan birden çok malzeme modeli içeren sayısal çözümleme yöntemleri ile kazının her aşamasının modellenmesi,
3. İleriki kazı aşamalarında oluşabilecek deformasyon ve tahkimat yüklerinin kestirimi ve tahkimat kapasitelerinin ayarlanması,
4. Yüklerin ve deplasmanların¹² ölçümü,
5. Normal olmayan yüklerin kontrolü için ilave tahkimatların yerleştirilmesi veya mevcut tahkimatların ayarlanmasıdır.

Yeraltında açılan boşluklarda tavanın kendini taşıyacak kadar sağlam olmadığı durumlarda emniyetli şekilde açık tutulması için tahkimat yapılması zorunludur. Yeraltında kazı yapıldıktan sonra çalışma alanının güvenliğinin sağlanması için yapılacak en önemli prosedür tahkimat yapımıdır. Tahkimatlar ağaç, demir, beton taş gibi malzemelerden yapılabilmektedir. Bu

¹¹Boy değişimi ölçme cihazı, dik konumdaki yerinde deformasyonları ölçmek üzere deformasyon olabileceğinden şüphelenen yerlere yerleştirilir ve meydana gelen deformasyonlar hassas şekilde ölçülür

¹²Madencilik faaliyetleri sebebiyle yeraltında oluşan boşluklardan dolayı, üst formasyonların oturması sonucu yeryüzünde meydana gelen çöküntü [14]

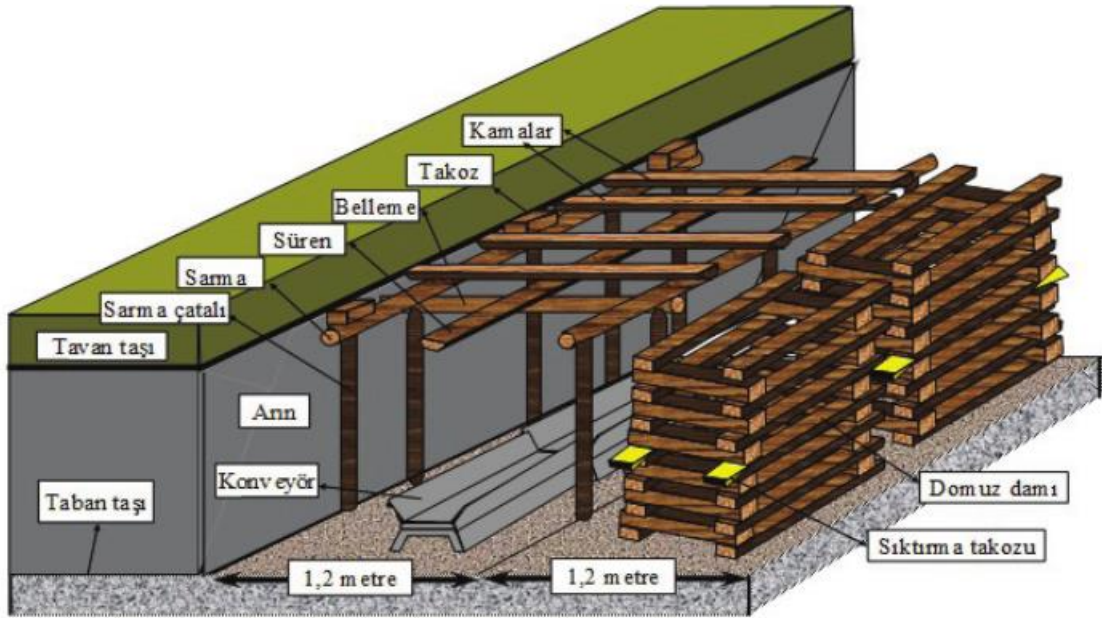
malzemelerden hangilerinin kullanılacağı, yapılacak yerin basınç, çalışma koşulları, açıklığın ömrü, genişliği ve yüksekliği ve ekonomik faktörler göz önünde bulundurularak mühendislik çalışmaları sonucunda belirlenir [20].

Türkiye’de yeraltı taşkömürü madenlerinde en fazla kullanılan tahkimat tipi ağaç tahkimatlardır. Ağaç tahkimatların avantajları; hafif olması nedeniyle ocak içinde taşıma ve tahkimat yapımında kolaylık sağlaması, kolay işlenebilir olması, yüksek dayanıma sahip olması, işçiliğinin kolay ve basit olması ve kısa sürede hazırlanabilmesi, kırılmadan önce kıymıklanması, ihbarlı kırılma özelliğine sahip olması, tahkimatın değiştirilmesi ve takviyesi için zaman sağlaması olarak sıralanabilir. Dezavantajları ise mekanik dirençlerinin büyük ölçüde değişim gösterebilmesi, rutubete karşı duyarlı olması, mekanik özelliklerinin rutubet artışı ile düşmesi ve yanabilir bir malzeme olduğundan yangına elverişli ortamlarda kullanımının uygun olmamasıdır [20].

Bir diğer yaygın kullanılan tahkimat çeşidi ise çelik tahkimatlardır. Uzun ömürlü galerilerin ve ayak açıklıklarının çoğu çelik tahkimatlar ile tutulmaktadır. Çelik tahkimatların avantajları ise yük taşıma kapasitelerinin yüksek olması, istenilen şeklin kolaylıkla verilebilmesi, boyutlarının istenilen şekilde imal edilebilmesi, deformasyona uğradıktan sonra birkaç kere düzeltilebilmesi, yapısındaki kusurların diğer malzemelere göre daha az olması, homojen olması ve doğal koşullardan az etkilenmesi olarak sıralanabilir. Olumsuz yönleri ise ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, korozyon etkilerine açık olması, taşınması ve kurulmasının zorluğu ve şekillendirilmesinin genellikle ocak dışında olup özel ekipman gerektirmesidir [20].

Beton tahkimat ise genellikle kuyu ve galeri kaplamaları, taban yolu takviyeleri, suni tavan, su ve yangın barajlarında kullanılmaktadır. Beton tahkimatların yangına karşı dirençli olması ve tahkimat için pürüzsüz olması ve havalandırma yük kayıplarının en az şiddette olması nedeniyle tercih edilmektedir [20].

Türkiye’de taşkömürü genellikle göçertmeli uzun ayak yöntemi kullanılarak konvansiyonel metotlarla çıkarılmaktadır. Şekil 2.4.’de uzun ayak tahkimatının perspektif görüntüsü verilmektedir. Bu yöntemde, ilerletimli çalışan ayakların baş ve dip kısımlarına sabit domuzdamları yapılır. Ayak gerisindeki kısımlar göçmeye terk edilerek ilerlenir. Ayak arkasındaki göçmeye terk edilen kısımlara girilmemesi gerekir. Ağaç sarmalarının her iki ucuna vurulan direkler sarma uçlarından 10-15 cm pay bırakılarak vurulur. Ağaç direklerin başları ise sarmaları kavrayacak şekilde Resim 2.1.’de görüldüğü gibi kurtağzı yapılmalıdır. Bu şekilde



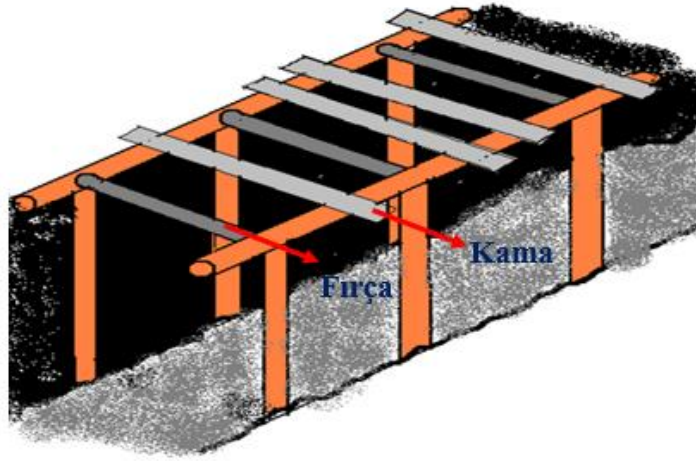
Şekil 2.4. Uzunayak Tahkimatı Perspektif Görüntüsü [20]



Resim 2.1. Kurtağzı Örneği [21]

Sarmaların birbiri ile irtibatını sağlamak amacıyla ‘fırça’ adı verilen ağaç tahkimatlar kullanılır. Fırça bağların birlikte çalışmalarını sağlamak ve bağ aralıklarını eşit mesafelerde tutmak için, bağlar arasına vurulan iki tarafı kurtağzı veya uygun şekilde hazırlanmış ince direk parçalarına denir [14]. Fırçalar Şekil 2.5.’de görüldüğü şekilde öndeki yükü arka sarmaya, arkadaki yükü

ise öndeki sarmaya iletir. Bu şekilde sarmaların birlikte çalışması sağlanır. Ağaç veya madeni bağların arkasını pekiştirmek ve tahkimatın normal çalışmasını sağlamak için kullanılan, testere ile ekseninden kesilen maden direğine ise ‘kama’ denir [14]. İnce maden direğinin balta ile ortasından yarılması suretiyle elde edilen kamaya ise şak kama denir [14]. Kamalar hem kömürün akmasını önlerken, sık konulduğunda taş ve kavlak düşmesini önler, hem de iki sarmaya üstten bastığı için birbirleriyle irtibatını sağlar [22].



Şekil 2.5. Fırça ve Kama Örneği [22]

Domuzdamı ise dikdörtgen veya kare prizma şeklinde tavanı tutan ve ayak arkasından tavanın muntazam kırılmasını sağlayan özel tahkimat birimidir [14]. Şekil 2.4.’de domuzdamı örneği de görülmektedir. Domuzdamları doğru yapıldığı durumlarda en sağlam tahkimatlardan biridir. Ancak aynı şekilde yanlış yapıldığı durumlarda ise en tehlikeli tahkimat biçimi haline gelir. Ağaç tahkimatlı göçertmeli ayaklarda göçüğün önüne en az bir sıra domuzdamı yapılması gerekir. Arkası düşmeyen kısımlarda ise çift sıra domuzdamı yapılmalıdır. Domuzdamı direkleri meşe, kayın, gürgen gibi sert ağaçlardan yapılır. Domuzdamları taban iyice temizlendikten sonra kurulmalı ve direk köşelerinden 10’ar cm pay bırakılarak birbirinin üzerine gelecek şekilde kurulmalıdır. Eğimli ayaklarda domuzdamlarının kaymaması için alt kısımlarına dayama direkleri dikilir [17, 19, 20].

Sarma; galeri tahkimatında, tahkimat profillerini irtibatlayan ve galerinin uzun eksenine paralel olarak konulan tahkimat direğine denir [14]. Her sarmada kullanılacak kama sayısı tavan ve damar şartları göz önünde bulundurularak daimi nezaretçi tarafından belirlenir. Sarma boyları genellikle 2,5 m ve daha uzundur. Sarmalar yerleştirilirken uçları arasında açıklık kalmayacak şekilde temas ettirilmelidir. Her sarmaya en az üç direk vurulmalı ve direkler arasındaki açıklık

eşit mesafede düzenlenmelidir. Arında kazı işlemine sarma başlarından başlanır ve have açıldıkça kamalar gerideki sarmanın üzerinden arına doğru sürülmelidir. Have yeteri kadar açıldığında ilk olarak orta çatal direk üzerinden sarma kaldırılır ve sonra sırasıyla baş ve dip çatal direkleri kurulur. Sarmaların çatal direklerin vurulduğu kısımların üzerine ise Şekil 2.4.'de görüldüğü gibi sıkırtma takozları konulur. Taban ve ayna kazısı bu işlemler tamamlandıktan ve tahkimatın sağlam olduğu kontrol edildikten sonra yapılmalıdır. Tahkimatı tamamlanmamış sarmaların bir sonraki vardiyada tamamlanması gerekir [17, 19, 20].

Lağımlarda ve damar içinde sürülen yollarda ağaç tahkimat dışında demir, beton, taş tuğla kemer, saç kama, çelik hasır, tavan saplaması veya püskürtme beton olarak yapılabilir. Lağımlarda tavan kendini taşıyacak sağlamlıkta ise tahkimatsız da bırakılabilir, ancak damar içi yollarda tahkimatsız kısım bırakılmaz. Tahkimatsız kısımlarda periyodik olarak ve yetkili bir mühendis denetiminde tecrübeli çalışanlar tarafından kavlak kontrolleri yapılmalıdır. Düşürülemeyen kavlakların altına ise gerekli tahkimatların yapılması gerekir [21]. Lağımlarda demir tahkimat kullanılan kısımlarda iki bağ arasındaki mesafe 150 cm'den fazla olmamalı, damar içinde sürülen yollarda ise bağlar arası mesafe 120 cm'yi geçmemelidir. Başyukarı galerilerde insan, malzeme, hava ve pasa yolu ayrılmalıdır. Özellikle kavşaklardaki tahkimatlara özel önem verilmeli ve gerektiği durumlarda ilave tahkimat yapılmalıdır. Kuyu dibi röset¹³ lağımları, vinç daireleri, su havuzları, trafo daireleri gibi önemli kavşak noktaları ve uzun ömürlü olması istenen kısımlar beton, beton kemer, saç kama, çelik hasır, tavan saplaması veya püskürtme beton ile kaplanmalıdır [17].

Tavanın kaya saplaması ile tahkim prensibi, ayrılan tabakaları birbirine bağlamak, tabakaların çökme hareketini önlemek, özellikle deformasyon eğilimi fazla olan zayıf tabakaları daha sağlam tabakalara bağlayarak birlikte çalışmalarını sağlamak esasına dayanır [20]. Kaya saplamaları ilk olarak 1954 yılında yapılan araştırmalar sonucunda ABD'de kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra 1964 yılında 'mekanik nokta bağlantılı' saplamalar kullanılmış, ancak yaşanan tavan göçmelerinin ardından bu tip kaya saplamalarının kullanımı azalmıştır. 1990'lardan itibaren, kaya saplamaları yeraltı madenciliğinde başlıca kullanılan tahkimat sistemleri haline gelmiştir ve özellikle anayolların %95'i kaya saplamaları ile tahkim edilmektedir [17]. Mekanik ankrajlı, dolgulu, birleşik (mekanik ankraj + dolgulu) sürtünmeli

¹³Dik ve meyilli kuyuların dip ve başlarının veya ara katlarının yatay yollarla maden üretim yerlerine bağlantısını sağlayan yer [14]

ve elik kablolu tipli kaya saplamaları vardır. Kaya saplamaları açılan açıklıkları hemen tahkim etmesi sayesinde büyük ölçüde tavan alçalmasını azaltır. Kaya saplamaları patlamadan dolayı oluşan sarsıntılar ve buna benzer etkilerden etkilenmezler. Galerilerde makinelerin çalışması, nakliyat araçlarının geçmesi için engel teşkil etmediklerinden nakliyat verimi yüksektir. Kaya saplamalı galerilerin hava akımına karşı dirençleri daha azdır. Kaya saplamaları boruların, kabloların asılması için çok iyi bir dayanak imkânı verir. Kömür ocaklarında kullanıldığında tavan taşlarının düşüp kömüre karışması ile kül oranının artması diğer madenlerde ise cevhere yan kayaç karışması önlenmiştir [20].

2.2. KÖMÜR MADENLERİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ

İş kazaları göz önünde bulundurulduğunda maden sektörü kazaların en fazla yaşandığı ve kaza sonuçlarının en ağır yaşandığı sektörlerden biridir. İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliğine göre de madencilik faaliyetleri çok tehlikeli sınıfta yer almaktadır [5]. Kazalar hem kaza geçiren çalışanlara, hem ailelerine, hem de maden işletmelerine ağır ve maliyetli sonuçlar doğurmaktadır. ABD’de yapılan bir araştırma sonucunda kömür madenlerinde çalışanların diğer sektörlerde çalışanlara kıyasla daha fazla yaralanma ve ölümle sonuçlanan kaza geçirdikleri tespit edilmiştir. Bununla birlikte yaralanmayla sonuçlanan kazaların diğer sektörlerde geçirilen kazalara göre daha ağır sonuçları olduğu da bu araştırmada tespit edilmiştir [23]. Avustralya ve Yeni Zelanda’da yapılan bir araştırma sonucunda madenlerde çalışanların iş kazaları sonucunda ölüm oranlarının diğer sektörlerle göre on kat fazla olduğu tespit edilmiştir [24]. Yine ABD’de 2005 yılında kömür madencilerinin geçirdiği iş kazaları ve meslek hastalıklarının diğer sektörlerle göre %11 fazla olduğu ve yeraltı kömür madenlerinde çalışanların diğer sektör çalışanlarına göre yaklaşık %63 oranında daha fazla yaralandıkları tespit edilmiştir [25].

Türkiye’de gerçekleştirilen bir çalışmada ise Türkiye kömür madenciliği endüstrisindeki güvenlik performansı ABD, Polonya, Güney Afrika, Avustralya, İngiltere ve Kanada’daki kömür madenciliği sektörüyle karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonuçları milyon ton kömür üretimi, bin çalışan ve milyon adam-saat maruziyet cinslerinden verilmiştir. Yapılan analizler sonucunda Türkiye maden sektörünün bu ülkeler arasında İSG açısından en olumsuz koşullara sahip olduğu görülmüştür [26]. Türkiye’de gerçekleşen iş kazalarına bakıldığında 2008-2014 yılları arasında yılda ortalama 108 148 yaralanma veya sakatlıkla sonuçlanan iş kazası ve ortalama 1 273 ölümle sonuçlanan iş kazası yaşanmıştır. Bu kazalar taşkömürü ve linyit

madenciliği faaliyetleri özelinde incelendiğinde ise yine SGK istatistiklerine göre son yedi yılda ortalama 8 258 yaralanma veya sakatlıkla sonuçlanan ve 106 ölümlle sonuçlanan iş kazası meydana geldiği görülmektedir. Yalnızca taşkömürü madenciliğinde ise 2013 ve 2014 yılları arasında toplam 8 201 sigortalı maden çalışanının kaza geçirdiği SGK istatistiklerinde görülmektedir [2]. Bu kazaların yıllara göre dağılımı Tablo 2.2.'de verilmektedir.

Tablo 2.2. Taşkömürü ve Linyit Madenciliğinde Yaşanan Kazalar [2]

Yıl	Yaralanma ve Sakatlıkla Sonuçlanan İş Kazaları	Ölümlle Sonuçlanan İş Kazaları
2008	6 557	66
2009	9 096	20
2010	9 109	125
2011	10 635	116
2012	10 094	44
2013	11 289	36
2014	10 026	335

Kömür madenlerinde meydana gelen iş kazaları ve meslek hastalıklarına karşı önleyici ve koruyucu tedbirlerin belirlenmesi için oluşabilecek tehlikelerin belirlenmesi gerekir. Kömür madenlerinde meydana gelebilecek tehlikeler;

- Madenin yapısından kaynaklı göçükler veya taş-kavlak düşmeleri,
- Havalandırma yetersizliğinden kaynaklanan ortamdaki kimyasal gaz veya buharlar gibi kimyasal tehlikeler, toz, ağır metaller veya yetersiz oksijen,
- Yetersiz aydınlatma, termal konfor ve gürültü, titreşim gibi fiziksel tehlikeler,
- Pas, kemirgen hayvanlar, nem, rutubet, bulaşıcı hastalıklar gibi biyolojik tehlikeler,
- Elektrik tehlikesi,
- Yangın veya patlama tehlikesi,
- Makinelerden veya nakliyat ekipmanlarından kaynaklanan tehlikeler,
- Ergonomik tehlikeler,
- Psikolojik tehlikeler.

şeklinde sınıflandırılabilir [1].

Bu çalışmanın ana konusu olan göçük ve taş-kavlak düşmeleri hem Türkiye’de hem dünyada yeraltı kömür madenlerinde en fazla görülen kaza nedenlerindendir [1, 23, 24]. Oluşan bu göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının önlenmesi için oluşma koşullarının anlaşılması gerekmekte ve önleyici koruyucu tedbirlerin bu nedenlere göre alınması gerekmektedir.

2.2.1. Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi

Göçük yeraltı imalatında, tahkimatın yetersizliği veya eskiyip dayanıklılığını kaybetmesi sonucu tavanın çökmesi haline denir [14]. Çok nadir haller hariç, genellikle her göçükte bir hata veya ihmâl vardır. Yer altı kömür ocaklarında göçükler ağırlıklı olarak ayaklarda meydana gelir. Daha sonra tarama ve taban yolu ilerlemeleri ile lağım sürülmesi esnasında meydana gelen göçükler yer almaktadır [20]. Kavlak ise maden ocaklarında atımdan sonra meydana gelen çatlaklar veya diğer yerlerde herhangi bir nedenle oluşan kılcal çatlakların zamanla büyümesiyle ana kayaktan ayrılıp askıda kalan ve tehlike yaratan, tıklatıldığında kof ses çıkaran taş veya cevher parçaları veya blokları anlamına gelmektedir [14].

Göçük ve taş-kavlak düşmesi koşulları madenden madene, hatta aynı maden için bölümden bölüme değişmektedir. Kömür damarını çevreleyen tortul kayaç tipi maden tavanının dayanımını etkiler ve bu durumun diğer jeolojik süreksizliklerle birleşmesi madenlerde tavan ve yan duvarların kontrol edilmesini zorlaştıran en önemli etkenlerden biridir. Bu nedenle her zaman madenin değişen koşullarına ayak uydurulması gerekmektedir. Her yeni kömür kazısı neticesinde yeni bölgeler açılmakta ve yeni potansiyel tehlikeler oluşmaktadır. Bu nedenle her madenin kendine özgü koşullarının olduğunun kabul edilmesi ve kazı ve tahkimat çalışmalarının buna göre yapılması gerekmektedir [27].

Yeraltı madenlerinde taş-kavlak düşmeleri ve göçüklerden meydana gelen kazalar hem Türkiye’de hem de dünyada en fazla yaşanan iş kazalarından biridir. Örneğin 1997 yılında ABD’de bulunan yeraltı kömür madenlerinde 800’den fazla çalışan taş-kavlak düşmeleri ve göçükler nedeniyle hayatını kaybetmiştir. 1999 – 2008 arasında ise yine taş-kavlak düşmeleri ve göçüklerden 75 kişi hayatını kaybetmiş ve 5941 kişi yaralanmıştır, bu süre zarfında yeraltı madenlerinde ölümlerin %40’ı göçük ve taş-kavlak düşmeleri nedeniyle meydana gelmiştir [28, 29]. Yine dünyadaki önemli kömür üreticisi olan ülkelerden biri olan Kanada’da taş-kavlak düşmeleri ve göçükler yeraltı maden kazalarının en büyük nedeni olarak belirtilmektedir. İş kazalarının oldukça az yaşandığı Kanada’da taş-kavlak düşmeleri ve göçükler nedeniyle 2000–2013 yılları arasında 5 çalışan hayatını kaybetmiş ve 25 çalışan ağır yaralanmıştır [30].

Yeraltı madenlerinde en fazla görülen kaza nedenlerinden biri göçük ve taş-kavlak düşmesi olduğu bilindiğine göre, bu kazaları önleyebilmek ve koruyucu tedbirler alabilmek adına, bu durumları oluşturan koşulların iyi bir şekilde bilinmesi ve anlaşılması gerekmektedir. Yeraltı kömür madenlerinde göçükler çeşitli nedenlerden dolayı oluşmaktadır. Jeolojik koşullar, stres,

madenin tasarımı, çevresel etkiler bunlara örnek olarak gösterilebilir. Literatürde göçüklerin jeolojik koşullarla, stres durumuyla, maden tasarımıyla ilişkisini araştıran çalışmalar bulunmaktadır. Kömür madenlerinde gerçekleşen göçük tehlikeleriyle ilgili kötü tavan koşulları hakkında çalışanların bilgilendirilmesi ve tavan koşullarının haritalandırılması şeklinde çalışmalar yapılmıştır [27, 31].

Göçük ve taş-kavlak düşmelerini önlemenin en önemli yollarından biri uygun tavan-zemin kontrol sistemleri oluşturulmasıdır [32]. Zemin kontrolü taş-kavlak düşmelerini ve göçükleri önlemek için, yeraltında kayaçların sağlamlaştırılması veya dengede tutulması amacıyla yapılır [30]. Zemin kontrolü için iki önemli aşama vardır. Birincisi tasarım aşamasında kazı işlerinin nasıl yapılacağı ve hangi tip tahkimatın nerelerde kullanılması gerektiği gibi ölçümler, ikincisi ise operasyonel ölçümler, yani madenin tasarımına göre açılacak yeni ayakların nasıl olması gerektiği ile ilgili ölçüm ve önlemlerdir [30]. Tahkimat sistemlerinin ise madenin jeolojisine, stres koşullarına ve açıklık geometrisine uygun olarak yapılması gerekir [32]. İyi bir tahkimat sisteminde madenin ölçekleri ve geometrisi iyi bir şekilde bilinmeli, kaya kütlelerine etki edecek patlatma hasarları, jeolojik süreksizlikler, stres koşulları gibi bütün etmenler anlaşılmalıdır [18]. Bu nedenle göçük oluşumunu ve taş-kavlak düşmesini etkileyebilecek bütün nedenlerin detaylı bir şekilde araştırılması gerekir.

2.2.2. Göçük Oluşumunu ve Taş-Kavlak Düşmesini Tetikleyen Nedenler

Maden işletilmeye başlamadan önce jeolojisi, kaya özellikleri, stres, kontrol edilecek yüzeyin kapsamı, muhtemel arıza mekanizmaları, diğer çalışma alanlarının etkisi, çevresel etkenler ve geçmiş veriler gibi bilgiler göz önünde bulundurulmalıdır [17]. Göçük ve taş-kavlak düşmesine neden olan pek çok etmen bulunmaktadır. Bunlar doğal, çevresel ve jeolojik koşullar, maden tasarımı ile ilgili durumlar ve yönetim-insan kaynaklı durumlar olarak sıralanabilir. Bu bölümde göçük ve taş-kavlak düşmesini tetikleyen nedenler çevresel ve jeolojik faktörler, yönetsel hatalar, mühendislikle ilgili nedenler ve çalışan kaynaklı nedenler olarak sınıflandırılmıştır. Bu nedenlerle ilgili veriler aşağıda açıklanmaktadır.

2.2.2.1. Jeolojik ve çevresel nedenler

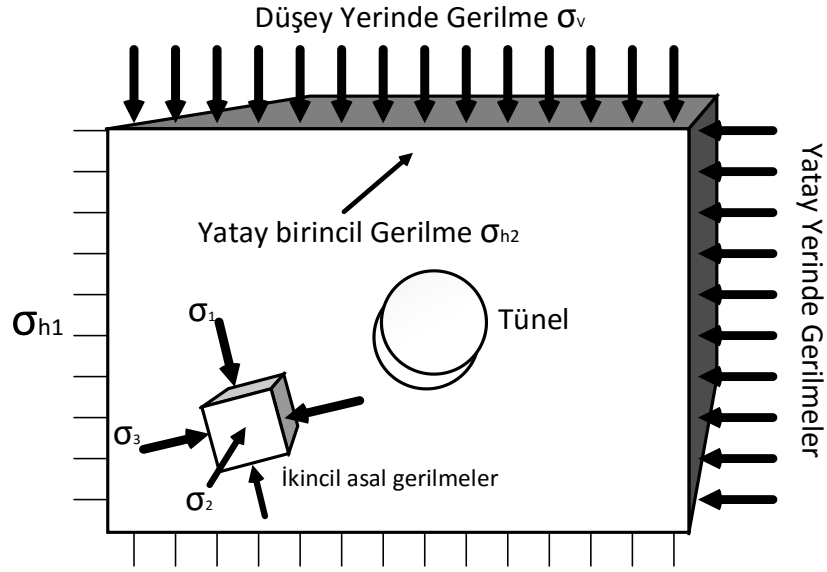
Göçük ve taş-kavlak düşmeleri doğal kaynaklar ve maden kaynaklı sebeplere bağlıdır. Doğal sebeplerin madenden madene değişebilmesiyle birlikte, genel olarak maden jeolojisiyle ilgilidir. Örneğin tortul kaya tipi, faylar, çatlaklar, fosiller, ince lamine veya zayıf, kırılğan

kayalar maden jeolojisine verilen bazı örneklerdir. Ayrıca, stres ve derin madenlerde çalışma da göçük ve taş-kavlak düşmesi tehlikesine neden olabilecek diğer doğal kaynaklardır [27]. Göçük ve taş-kavlak düşmesine neden olabilecek jeolojik ve çevresel nedenler yeraltı suları, yüksek nem, sıcaklık, yatay ve dikey basınçlar, stres, kaya ve kömür patlamaları ve jeolojik süreksizlikler şeklinde sınıflandırılabilir.

Yeraltı suları basınca yol açarak göçük oluşumu ve taş-kavlak düşmesine neden olmaktadır. Bununla birlikte maden derinleştikçe yeraltı sularının artması bu durumu daha da önemli bir hale getirmektedir. Yeraltı suları basınca neden olması dışında, yan duvarları yıkaması, sıcak su bulunması halinde maden havasının aşırı ısınma ve nemlenme sonucunda bozulması, ocak duvarlarının dengesinin bozulması ve maden içinden sular boşaldıkça çevre kuyu sularının çekilmesine neden olarak göçük oluşumunu ve taş-kavlak düşmesini tetiklemektedir [33, 34, 35].

Yüksek nem ve rutubet yeraltı kömür madenlerinde taş-kavlak düşmelerine neden olan bir diğer nedendir. Yüksek nem yeraltı madenlerinde kayaçların kabarmasına ve kayacın zayıflamasına ve böylece ana kayaçtan kopmasına neden olmaktadır [36].

Bir diğer jeolojik ve çevresel neden basınç ve strestir. Basıncın göçük ve taş-kavlak düşmelerini oluşturmasının nedeni yeraltında yapılan kazılar sonucunda açılan açıklıklar etrafında bir stres alanı oluşması ve bu stres alanının kayanın dayanımını geçmesi durumlarında kazının çevresindeki kayada tavan göçmelerine, yanlardaki kayaçların kaymalarına ve kaya patlamalarına neden olabilmesidir. Kazı derinliğinin de zamanla artması kaya kütlesine uygulanan basıncı arttırarak göçük oluşumu ve kavlak düşmesi ihtimalini arttırmaktadır [18]. Bunun nedeni gerilmelerin yoğunlaştığı kaya kütlesinde bir açıklık oluşturulduğu zaman yeni açıklığın çevresindeki gerilmelerin rahatsız edilmesidir. Şekil 2.6.'da yatay açılmış dairesel bir tünel etrafındaki düşey ve yatay gerilmelerle birlikte, açıklık oluşturulması sebebiyle meydana gelen ikincil gerilmeler gösterilmektedir. Tünel kazılmadan önce birincil gerilmeler olan düşey gerilme (σ_v), yatay gerilme (σ_{h1}) ve tünel eksenine paralel gerilme (σ_{h2}) kaya içinde düzgün olarak dağılmış durumdadır. Kazı işleminden sonra tünelin çevresindeki gerilmeler değişir ve ikincil gerilmeler ($\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$) oluşur [37]. Bu nedenle, yeraltında yapılan her kazı neticesinde tavan basıncı ve yanal basınçlar değişebilmekte ve göçüklere ve kavlak düşmelerine neden olabilmektedir.



Şekil 2.6. Yatay açılmış dairesel bir tünel etrafındaki gerilmeler [37]

Bir diğer etken olan kaya patlamaları, yeraltı açıklıkları çevresinde yoğunlaşan, çok büyük gerilmeler nedeniyle oluşan, kayacın patlama şeklindeki yenilmesidir. Bu tür sorunlara genellikle gevrek ve sert kayalar içerisindeki derin madenlerde sürekli rastlanmaktadır. Neredeyse bütün kaya patlamalarının belirgin özelliği aşırı derecede gerilmeler ile yüklü gevrek kayalarda oluşmasıdır [37].

Süreksizlikler jeolojik anlamda farklı fiziksel ortamları birbirinden ayıran zayıflık düzlemlerinin (fay, tabaka düzlemi, şistozite, folyasyon, klivaj, vs.) genel adıdır. Süreksizliklerin özellikleri, konumları ve dağılımları kaya kütlesi davranışını önemli derecede etkiler. Kütle içindeki süreksizliklerin tanımlanmasında; süreksizliklerin türü, aralığı, açıklığı, sıklığı, yüzeylerin durumu, devamlılığı, dolgu durumu, ayrışma ve su durumu gibi birçok etken rol oynar [19].

2.2.2.2. Mühendislikle ilişkili nedenler

Göçük ve taş-kavlak düşmesi kazaları mevcut jeolojik ve çevresel nedenlerin oluşturduğu koşullara karşı maden işletimi esnasında yeterli mühendislik önlemlerinin alınmaması veya uygulanan işlemlerin yanlış olması sonucunda oluşabilir. Bu nedenle göçük oluşumu veya taş-kavlak düşmesinin ana nedeni olan jeolojik ve çevresel koşulların yanında tahkimat tasarımında, kömür kazısında veya patlatma esnasında yapılan hataların da değerlendirilmesi gerekir.

Göçük ve taş-kavlak düşmelerinin nedenlerinden biri de maden kaynaklı sebeplerdir. Bunlar, yanlış maden tasarımı, yanlış tahkimat kurulumu ve sökümü, yetersiz tavan kontrol planları ve jeolojik koşulların haritalanmasıyla ilgili hatalardır [27]. Herhangi bir yeraltı tahkimat tasarımının amacı, mümkün olan en geniş mesafeye kadar kaya kütlelerinin kendini tutmasına yardımcı olmaktır. Bu da kazıların şekil ve yerleşiminin optimize edildiğinden, kazı sırasında kayanın mümkün olduğu kadar az hasara uğradığından, tahkimat karakteristiğinin kayanın davranışına uyacak şekilde dikkatlice seçildiğinden, kazı aşamalarının ve tahkimatın kurulumunun tahkimat tasarımında dikkate alındığından emin olunması demektir. Tahkimat tasarımı için tek bir doğru yol yoktur ve her büyük yeraltı açıklığı tasarımında başarılı olarak eşit şekilde uygulanabilen muhtemel birçok çözüm vardır [37].

Yeraltındaki her çalışma arınında veya çevresinde, çalışılan ayaklara mümkün olduğunca yakın olacak şekilde tüm çalışma yerlerinin tavanının emniyetli bir şekilde tahkim edecek uygunlukta ve boyutlarda yeteri kadar tahkimat malzemesi hazır bulundurulmalıdır [21]. Tahkimat olarak taşınması veya kurmasının kolay olması nedeniyle veya sarfiyat az olsun diye ortadan ikiye biçilmiş ağaçlar veya domuzdamı oluşturmak için yuvarlak ağaçlar veya ayak arkasından çıkan ağaçlar hiçbir şekilde kullanılmamalıdır.

Yeraltı madenlerinde tahkimatın ani basınçlara maruz kalarak bozulmaması için üzerinde ve yanlarında kalan boşlukların mümkün olduğunca doldurularak sıkıştırılması gerekir. Sıkıştırma için bağlar arasına yeterli sayıda fırça ve kama konulmalı ve gerekirse poligon tahkimat yapılmalı veya kilit çekilmelidir [21]. Bu durum aynı şekilde, Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'ne göre de "*Tavanlarda ve yanlardaki boşluklar doldurulur ve sıkıştırılır.*" şeklinde ifade edilmiştir [16].

Tavandan taş-kavlak düşmesini önlemenin en önemli yollarından biri de sürenlerin üzerine mümkün olduğunca kama yerleştirip boşluklar doldurularak aralardan taş ve kavlakların düşmesini önlemektir. Açılan en ufak boşluğa dahi geriden kama sürülmesi gerekir. Lağım ve taban ilerlemelerinde demir sürenler kullanılmalı, sürenler arına yapışık olarak takip edilmeli ve üstleri kavlak düşmelerine karşı kamalanmalıdır [21]. Sürenlerin üzerine yeteri kadar kama konulmadığı durumlarda, mevcut kamalar yükü yeteri kadar taşıyamaz ve bunun sonucunda tahkimat deformasyona uğrar ve Resim 2.2.'deki gibi tehlikeli durumlar meydana gelir. Bunun sonucunda ise tavan kendi yükünü taşıyamaz ve göçük veya büyük kavlakların düşmesi neticesinde yaralanma veya ölümlü kazalar meydana gelebilir.



Resim 2.2. Eksik Kama Sonucunda Deformasyona Uğramış Tavan Tahkimatı [22]

Bununla birlikte tahkimatın sağlam olması ve hasar görmemesi gerekmektedir. İşi yöneten mühendis, nezaretçi, ekip başları, kazı, hazırlık ve tahkimat ustaları çalıştıkları yerin tahkimatının sağlam bir şekilde yapıldığından, kontrol edildiğinden ve gerektiği durumlarda tamir ve takviye edildiğinden emin olmalıdır. Tahkimat malzemeleri zamanla aşınabilir veya zarar görebilir. Bu gibi durumlardan kaçınılması için ilk olarak sağlam malzemelerin seçilmesi gerekir ve daha sonra tahkimatların sağlamlığı periyodik olarak kontrol edilmeli ve çalışanlar tarafından da izlenmelidir. Tahkimatların hasar görme nedenlerinden bir tanesi direklerin oturduğu yerlerin keskin açılmasıdır. Direklerdeki kurtağzının keskin açılması durumunda sarmalar direkleri ortadan yarabilir. Bu da tahkimatın deforme olmasına ve bunun sonucunda yükü istendiği şekilde taşıyamamasına neden olur. Aynı şekilde çatal başları yanlardan keskin bir şekilde inceltildiğinde sarma veya boyunduruğu¹⁴ kesebilir ve sarmaların uçlarının birbiriyle irtibatı kalmaz. Bir diğer neden ise tahkimatların birbirleriyle temasının uygun şekilde sağlanmamasıdır. Direk ile boyunduruk çinti¹⁵ ağzlarının birbirine iyi oturtulması, uygun şekilde temas etmesinin sağlanması gerekir. Aksi durumlarda yükün fazla gelmesi nedeniyle direk yarılabilir [19, 20].

Domuzdamlarından kaynaklanan hatalar ise tavan göçmelerine neden olan en önemli nedenlerden biridir. Domuzdamları dört tarafından takozlar yardımıyla taban ve tavana

¹⁴Galerilerde ağaç bağ tahkimatında iki ucu yan ve tavan basıncını karşılayacak şekilde çintili olarak hazırlanıp yandirekler üzerine yerleştirilen yatay veya tavan taşına uyumlu direk [14].

¹⁵Tahkimat direklerinin uçlarının balta veya testere ile özel kesilmiş şekli [14]

sıkıştırılmalıdır ve kurulum esnasında temiz tabana oturtulmalıdır. Aynı sıradaki domuzdamlarının aynı genişlikte olması gerekir, aksi takdirde domuzdamı aksak olur. Aşağıdan yukarıya doğru domuzdamlarının aynı hizada olması gerekir. Domuzdamının tavan yükünü tam olarak taşıyabilmesi için sarma ve direklerin domuzdamının içerisinde olmamasına dikkat edilmesi gerekir. Aksi takdirde yükü domuzdamı yerine sarma ve direkler taşır ve dam sökümü zorlaşır. Tavan taşının çok sağlam olduğu yerlerde ayak arkası zaman zaman oturmayabilir. Açıklığın çok fazla olduğu durumlarda yapılması gereken domuzdamlarını sıklaştırmaktır. Yüksek olan domuzdamlarında arka yükünün fazla olmasından dolayı damlar arkaya doğru basabilir, böyle durumlarda domuzdamlarına geriden doğru da sıkıtma takozları vurulmalıdır [17, 19, 20].

Büyük yeraltı kazılarının duraylılığı, açıklığın hemen kazıyı çevreleyen kayayla bütünleşmesine bağlıdır. Özellikle tavan düşmelerinin oluşma eğilimi tavan tabakasının hemen kenetlenmesiyle doğrudan ilgilidir. Kazı sırasında kaya kütlelerinin tahkimatına katkı sağlamak amacıyla kaya kütlelerinin kapasitesi dikkatsiz kazı ya da düzensiz kazı sırası ve tahkimat işlemlerinin uygulanma sırasıyla tamamen yok edilebilir [37].

Ortalama iki metreden yüksek ayaklarda yapılan kazılar esnasında taş ve kavlak düşme ihtimali artar. Böyle durumlarda taş kavlak düşmesini önlemek için ilk olarak iskele üzerinde çalışma yapılması gerekmektedir. Bununla birlikte arından veya yandan taş düşmelerine karşı arın kapağı kullanılmalıdır ve çalışma esnasında ve başlangıcında kavlak kontrolleri yapılmalıdır.

Arınlarda kazı esnasında tavanda kesik veya çatlak olup olmadığının kontrol edilmemesi bir ayak için en tehlikeli durumlardan biridir. Bunun nedeni, bu kesiklerin fark edilmediği durumlarda tavan çatlağının ana tavan taşına kadar gidebilmesi ve aynı zamanda sadece arında değil dam söküm esnasında da Şekil 2.7.a.'da görüldüğü gibi tehlike oluşturabilmesidir. Bunun için biran önce sağlam arına girilmesi gerekir [22]. Tavanda kömürün kısmi olarak yükseldiği durumlarda Şekil 2.7.b.'de görüldüğü gibi, kömürün akmasını ve sonucunda kömür kaymalarından oluşabilecek kazaları önlemek için kamalama yapılması gerekmektedir [22].



Şekil 2.7.a. Tavan Çatlağı Olması Durumu Örneği (solda) b. Tavanda Kömür Yükselmesi Örneği (sağda) [22]

Büyük açıklık kazıları için en sık kullanılan yöntemlerden biri delme-patlatmadır. Patlatma kontrolü açıklığın tasarım ihtiyaçlarından biri değildir ancak kazı sürecinin sonucu üzerinde en büyük etkiye sahiptir. Ayaklarda patlatma kazı için değil kömürü yerinde gevşetmek içindir. Patlamalar ateşlemeden sorumlu mühendisin gözetiminde patlatma paternine uygun olarak yapılır. Patlatmanın hatalı yapılması durumlarında yaşanan göçük ve taş-kavlak düşmeleri kazaları genelde patlatma sonrası kontroller esnasında meydana gelmektedir. Patlama hasarı kötü patlatılmış kaya kütlelerinin birkaç metre içine doğru kolayca uzanabileceğinden, gevşek kaya koşulları yeraltı açıklığını kaplayan kayada ciddi duraysızlık problemlerine neden olabilir [37]. Bu nedenle patlatma yapılmadan önce patlatma yapılacak bölgenin çevresindeki tahkimatların sağlamlığı kontrol edilmeli, patlatmadan etkilenmeyecek uzaklıkta ve sağlamlıkta olduğundan emin olunmalıdır. Bununla birlikte arın temizlendikten sonra; ateşleyici ve arın ustası tarafından arın kontrol edilip, tehlike kalmadığı bildirilmedikçe, arına başkasının girmesine izin verilmemelidir.

2.2.2.3. Yönetimsel Nedenler

Yönetimin sorumluluklarını yerine getirmemesi iş sağlığı ve güvenliği açısından bakıldığında iş kazalarının en önemli etkenlerinden biridir. Dünyadaki İSG standart ve mevzuatları incelendiğinde, iş sağlığı ve güvenliğinin işyerlerinde sağlanmasından her zaman işverenler ve yönetim kademesindeki işveren vekilleri ve diğer ilgili personeller sorumludur. Ülkemizdeki 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununda da aynı şekilde ilk olarak işverenin

yükümlülüklerinden bahsedilmektedir. Bu kanuna göre işverenler işyerlerinde oluşabilecek riskleri önlemek için gerekli tedbirleri almak, gerekli araç ve gereçleri sağlamak, tedbirlere uyulup uyulmadığıyla ilgili denetimler yapmak, risk değerlendirmesi yapılmasını sağlamak, çalışanların verilen göreve uygun olup olmadıklarını tespit etmek ve çalışanların hayati ve özel tehlike bulunan yerlere girmemelerini sağlamak gibi yükümlülükleri bulunmaktadır [38]. Aynı şekilde bu kanuna göre 2013 yılında yayımlanan Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde de madenlerin çalışanların sağlık ve güvenliklerini tehlikeye atmayacak şekilde tasarlanmasından ve işletilmesinden, tüm güvenlik talimatlarının çalışanların anlayacağı şekilde hazırlanmasından, özel riski bulunan işlerin yalnızca bu konuyla ilgili özel eğitim almış kişiler tarafından yapılmasından, gerekli tatbikatların yapılmasından ve gerekli eğitimlerin verilmesinden işverenin yükümlü olduğu belirtilmektedir [16]. Bu bağlamda işyerlerinde planlama, eğitim, denetim, çalışma koşulları, kullanılan ekipmanlar ve iş sağlığı ve güvenliği algısı ile ilgili bütün durumlar yönetimin sorumluluğu altındadır.

Denetim hatası yönetimin yetki verdiği mühendis, iş güvenliği uzmanları ve ustaların tahkimatlarda veya tavan ve yan duvarlarda göçük ve taş-kavlak düşmelerine karşı yeterli kontroller yapmaması sonucunda ortaya çıkan bir nedendir. Denetim hataları tahkimat denetimleri, kavlak kontrolleri, yasak bölgelere girilmemesi için yapılan denetimler olarak sınıflandırılabilir.

Her çalışma bölgesinde yetkili mühendis ve ustaların tahkimatların sağlam olduğunu, hangi tahkimatların bakıma veya değiştirilmeye ihtiyaç duyduğunu, zamanla bir aşınma meydana gelip gelmediğini ve tahkimatların yeterli olup olmadığı gibi durumları denetlemesi gerekmektedir. Her bölümde işi yöneten nezaretçilerin, pano üretim ve hazırlık ustalarının çalıştıkları yerdeki tahkimatların sağlam bir şekilde yapılmasından, kontrol edilmesinden, zaman geçirilmeden tamir ve takviye edilmesinden, tahkimat yönergesine uygun olarak yürütülmesinden sorumludur. Aynı şekilde eski çalışmalarda tahkimatın yetersiz kalabileceği göz önüne alınarak, daha sık kontrol ve titiz takip edilerek göçük oluşmasına imkân verilmemesi de gerekir.

Kavlak düşürme ateşlemeden sonra, vardiya başında ve çalışma esnasında tavanda, alında ve yanlarda bulunan gevşek kısımların, yani kavlakların, düşürülerek işyerinin emniyete alınması işlemine denir [14]. Kavlak düşürme işlemi yeraltı kömür madenlerinde büyük öneme sahip olan ve en tehlikeli görevlerden biridir ve düzgün yapılmadığı durumlarda kazalara ve

sonucunda yaralanma ve ölümlere neden olabilmektedir. Taban ve lağım ilerlemelerinde mutlaka kavlak kontrolü yapılmalıdır.

Çalışma anında tahkimatı alınan sahalara veya çalışmaların askıya alındığı bölgelere çalışanların girmemesi için gerekli önlemler alınmalıdır. Aynı şekilde açılmakta olan havelerin tahkimatı tamamlanmamış kısımlarına ve tahkimat bakımından tehlike arz eden yerlere görevlilerden başkasının girmesinin engellenmesi gerekir. Ayak arkasında da geçmeye bırakılan yere çalışanların girmemesi için önlemler alınmalı ve bu kısımlarda tahkimat kesme, tavan taşı dinamitleme ve arka göçertme işlemleri eğitilmiş ustalar tarafından yapılmalıdır. Terk edilen bölgelerin giriş kısımlarının insan geçmeyecek şekilde kapatılması gerekir.

Yönetimin sorumluluğu altında olan bir diğer etmen ise gerekli bütün ekipmanların sağlanmasıdır. Bu ekipmanlar kişisel koruyucu donanımlar, tahkimat malzemesi veya prosedürleri uygulamak için gerekli diğer bütün alet ve ekipmanlardır. Tüm işyerlerinde olduğu gibi, kömür madenciliğinde de tehlikenin yok edilemediği veya azaltılamadığı durumlarda, işçilerin güvenliğinin sağlanması amacıyla tehlikeli durumlara maruziyete karşı ek bir koruma sağlanması amacıyla işin ve riskin çeşidine göre işveren tarafından karşılıksız olarak KKD temin edilmelidir. Bu KKD'lerin bakımı sağlanmalı uygun ve yeterli olmalıdır [39]. Yeraltında kavlak düşürme, tamir-tarama, bakım-onarım ve delik delme gibi işlemler esnasında kullanılan el aletlerinin çalışanlara ekstra bir risk oluşturmaması ve yapılan işe, madenin özelliklerine uygun olarak seçilmesi gerekmektedir. Her çalışma arınında ve yakınında çalışma alanını tahkim edecek uygun nitelik ve ebatlarda yeteri kadar malzeme işletme tarafından sağlanmalıdır. Bununla birlikte tahkimat malzemeleri, geçici tahkimatlar da dâhil, çalışılan yere mümkün olduğunca yakın mesafede bulundurulmalıdır [16]. Bu gerekliliklerin sağlanmadığı durumlarda tahkimatlarda tespit edilen noksanlıkların giderilememesi veya tavan veya yanlardan kaya kütlelerinin düşmesinin önlenememesi gibi sonuçlar ortaya çıkabilmektedir.

Planlamaların eksik veya hatalı olmalarından kaynaklanabilecek hatalar yönetimin yanlış uygulamalarının taş-kavlak düşmesi ve göçük kazalarıyla sonuçlanan durumları ele almaktadır. Yönetim planlamalarının uygulanacak olan risk değerlendirmelerinde ve çalışanlara görevler verilmesinde önemli bir etkiye sahiptir. Planlamalar yapılırken, verilen görevler ergonomik olarak bir sıkıntı yaratmaması açısından insan dayanıklılığı ve gücü göz önünde bulundurulmalıdır. Bu nedenle görevler belirlenirken, kişilerin fiziksel ve mental durumları göz önünde bulundurulmalıdır. Mental koşullar, algısal durumları, dikkat ve karar verme becerilerini içermelidir. Organizasyonel durumlar ise çalışma tür ve biçimlerini, işyerindeki

kültürü, kaynakları, iletişimi, liderlik gibi unsurları içermektedir. Bu konseptlerin çoğu tasarım aşamasında göz ardı edilse de kişi ve grup davranış şekillerinin belirlenmesinde önemli payı vardır [40].

Planlama aşamasında dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise risk değerlendirmesidir. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve bu kanuna göre yayımlanan İş Yerlerinde Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği uyarınca işverenlerin işyerlerinde risk değerlendirmesi yapılmasını sağlaması zorunludur [41]. İşletmedeki muhtemel tehlike ve risklerin tespit edilmemesi kazaların önlenememesindeki en büyük etkenlerden biridir.

Hem yapılan görevle ilgili hem de iş sağlığı ve güvenliği konularında ve yaşanabilecek tehlike ve riskler konusunda eğitim verilmesi iş kazalarının önlenmesinde önemli bir role sahiptir. Özellikle zemin kontrolü ve zemin durumlarıyla ilgili koşulların eğitim programlarında yer alması ve her çalışanın zemin koşullarındaki tehlike ve riskleri tespit edebilecek şekilde kendilerini koruyabilecek kadar bilgiye sahip olmaları gerekir. İş güvenliği eğitimi hem çalışanların karşı karşıya gelebilecekleri tehlike ve riskleri, hem de bunlara karşı alınması gereken koruyucu önlemleri içermelidir. Göçük ve taş-kavlak düşmesiyle ilgili yaşanan kazaların ve bunların sonuçlarının İSG eğitimlerinde yer alması ve bu konuya karşı farkındalığın artırılması, böylece bu kazaların azaltılması veya önlenmesi gerekmektedir.

İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve ilgili yönetmeliklerinde de belirtildiği üzere işyerlerinde uygun çalışma koşullarının sağlanması da işverenin sorumluluğu altındadır [38]. Bu nedenle yeraltı kömür madenlerinde gerek termal konfor gerekse havalandırma şartlarının çalışma koşullarına uygun olması gerekir. Termal konforun uygun olmaması havalandırma yetersizliği, yüksek nem, yüksek rüzgâr hızı, iş kıyafetlerinin uygun olmaması gibi nedenlerle çalışma yerinde çalışanların yüksek veya düşük sıcaklıklara maruz kalmaları sonucunda oluşmaktadır. Bu gibi durumlar çalışanlarda konsantrasyon bozuklukları gibi sonuçlar oluşturmakta ve bu da kazaların artmasına neden olabilmektedir. İyi bir havalandırma hem termal konfor koşullarını iyileştirirken, hem de hava kalitesinin artırılmasını sağlamalıdır. Havalandırması yetersiz olan madenlerdeki hava kalitesi çalışanların enerjisinin düşmesine ve bunun sonucunda iş kazalarının yaşanmasına neden olur. Yeraltı madenlerinde uygun kalite ve miktarda havalandırma sağlanması güvenli ve sağlıklı bir ortam oluşturulması için en önemli faktörlerden biridir. Maden İşlerine İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği uyarınca da madenlerde ‘Havalandırma Yönergesi’ bulunması ve bu yönergede havalandırmanın ne şekilde yapıldığı ve planı, işyerinde havalandırmayı etkileyebilecek koşullar, havalandırma yapılmayan

bölgeler, hava ölçümleri ve alınması gereken önlemler gibi bilgilerin yer alması gerektiği belirtilmiştir [16].

2.2.2.4. Çalışan kaynaklı nedenler

Kazalardaki insan faktörlerinin araştırılmasının nedeni, insan hatalarını azaltarak davranışları etkileyebilmektir. İnsan hataları çevresel, organizasyonel ve iş faktörlerine bağlı olmakla birlikte, kişinin karakterine de bağlıdır. Bütün bu etkenler kişinin işteki davranışlarını ve iş sağlığını ve güvenliğini etkilemektedir. İşle ilgili olan faktörler verilen görevin özellikleriyle, iş yüküyle, çalışılan ortamla, kontrol önlemleriyle, tasarımlarla ve prosedürlerle ilgilidir. Kişi ile ilgili olan durumlar yeterlilik, beceri, kişilik, davranış ve risk algısı konseptlerinin tamamını kapsamaktadır. Kişilerin karakterleri davranış şekillerini pek çok yönden etkilemektedir. İyi bir iş güvenliği yönetim sisteminde insan faktörleri mutlaka hesaba katılmalı ve diğer risk kontrolleriyle beraber ele alınmalıdır [40].

Amerika Maden Bürosunun yapmış olduğu bir çalışma sonucunda madenlerde yaşanan kazaların yaklaşık %85'inin çalışan hataları kaynaklı olduğu tespit edilmiştir [42]. Ancak çalışan hataları kazaların ana faktörü olarak nitelendirilmemelidir. Çalışan hatalarının arkasında yatan başka nedenler mevcuttur ve bu diğer nedenlerle birlikte, insan hataları tetikleyici faktör olarak düşünülebilir. Yapılan bir çalışmada insan hatası bireyleri kaza geçirdikleri için suçlanmasından ziyade organizasyondaki eksiklikler ve sistem hatası olarak tanımlanmıştır [42]. Güvensiz davranışlar literatürde hatalar ve ihlaller olarak sınıflandırılırken, güvensiz durumlar genellikle yönetsel ve çevresel koşullarla ilgilidir.

Güvensiz durum olarak nitelendirilebilecek durumlardan biri çalışanların kazalara olan yatkınlığıdır. Kaza yatkınlığı ilk olarak Eric Farmer ve Karl Marbe (1925) tarafından birbirlerinden bağımsız olarak ortaya konulmuş bir terim olup bazı çalışanların kaza geçirmeye daha yatkın olduklarını açıklayan bir teorem olarak ortaya çıkmıştır [43]. Bu teorem bazı çalışanların belirli bir zaman diliminde başlarına gelen olayların ciddiye alınmadığı ve bu kişilerin görevlerine devam etmeleri durumlarında ciddi yaralanmalarla sonuçlanabilecek kazalar geçirebilecekleri ve bu durumların birden fazla kere meydana gelebileceğini anlatmaktadır [44].

Bir diğer güvensiz durum ise çalışanın fiziksel özelliklerinin yeraltında çalışmaya uygun olmamasıdır. Madenler doğası gereği çalışma koşullarının en zor olduğu sektörlerden biridir ve

güç, sağlık, dayanıklılık ve motivasyon gerektiren bir iş koludur. Bu nedenle herkesin yeraltında çalışması uygun değildir. Bunun belirlenebilmesi için detaylı işe giriş muayeneleri ve iş esnasında yine periyodik olarak çalışanların fiziksel özelliklerinin bu işi yapabilmeye elverişli olup olmaması açısından muayene ve kontrol edilmesi, geçirdikleri iş kazalarına göre görevler verilmesi gerekmektedir.

Çalışanların yaptıkları hatalar nedeniyle kaza geçirmelerinin nedenlerinden en önemlilerinden biri de konsantrasyon ve motivasyon eksikliğidir. Konsantrasyon eksikliği depresyon, uykusuzluk, alkol veya ilaç kullanımı, stres, ailevi problemler, uzun çalışma saatleri, yorgunluk ve tükenmişlik gibi pek çok durumdan kaynaklanabilmekteyken, motivasyon eksikliği düşük ücret, mobbing, iş tatminsizliği ve yapılan işin sevilmemesi gibi nedenlerden kaynaklanmaktadır. Bu durumların her biri çalışanın davranışı şekillendirerek kaza geçirmesine neden olabilmektedir.

Güvensiz durumlardan bir diğeri ise ergonomik problemlerdir. Ergonomik duruş bozuklukları beraberinde kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarını getirmekle beraber, çalışanlarda fiziksel yorgunluk ve devamında zihinsel ve duygusal yorgunluklara yol açmaktadır. Ergonomik duruş bozukluklarına neden olan risk etmenleri tekrarlayan hareketler, zorlayıcı güç verme, titreşim, aydınlatma, ısı, kondisyon yetersizliği, sigara kullanımı, iş memnuniyetsizliği, ağır iş yükü ve baskısı, iş monotonluğu, yetersiz amir ve iş arkadaşı desteği ve yetersiz iş organizasyonu gibi faktörlerdir. Ergonomik olumsuzluklara maruziyetlerin değerlendirilmesi ve bu konuda önlem alınması gerekmektedir. Bu maruziyetlerin vücut hareketleri ve seviyeleri yönünden değerlendirilmesi için 'Hızlı Maruziyet Değerlendirme (HMD) yöntemi', 'Muri Analizi', NIOSH Kaldırma Eşitliği, Rodgers kas yorgunluğu analizi gibi yöntemler geliştirilmiştir [45] [46] [47]. Çalışma ortamına uyum analizinin tespit edilip uygulanması ve ergonomik rahatsızlıkların ve bu durumların yol açabileceği diğer risklerin önlenmesi gerekmektedir.

Güvensiz davranışlar, literatürde çalışanların bilerek veya bilmeyerek yaptıkları hatalar ve ihlaller olarak sınıflandırılmıştır. İş tatminsizliği, kendini işe adamama, zaman baskısı, prosedürle ilgili kaygılar gibi faktörler çalışanların güvensiz davranışlar sergilemesindeki faktörlerden birkaç tanesidir [24].

Hatalı veya tehlikeli bir durumu fark edip önlem almama güvensiz bir davranış olarak nitelendirilebilir. İş sağlığı ve güvenliği, işyerlerindeki mevcut tehlikelerin farkına varmak ve bunlara uygun önleyici tedbirler almakla başlar. Bu farkındalık yönetim seviyesinde başlar ve

daha düşük organizasyonel seviyelere doğru ilerler. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununa göre çalışanlar, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili aldıkları eğitim ve işverenin bu konudaki talimatları doğrultusunda, kendilerinin ve hareketlerinden veya yaptıkları işten etkilenen diğer çalışanların sağlık ve güvenliklerini tehlikeye düşürmemekle yükümlüdür. Bununla birlikte ciddi ve yakın tehlike ile karşı karşıya kalan çalışanlar durumun tespit edilmesini ve gerekli tedbirlerin alınmasına karar verilmesini talep edebilir ve çalışanın talebi yönünde karar vermesi hâlinde çalışan, gerekli tedbirler alınıncaya kadar çalışmaktan kaçınabilir [38]. Göçük ve taş kavlak düşmesi özelinde incelendiğinde bu olay taş-kavlak düşme ihtimalini fark edip önlem almama veya tahkimatla ilgili fark edilen noksanlıklar konusunda önlem almama olarak değerlendirilebilir.

Çalışanların acele etme eğilimi ise bir diğer güvenli davranış örneğidir. Verilen eğitimlere, yapılan uyarılara rağmen çalışanlar işi çabuk bitirme veya kendine güven duygusuyla acele etme eğiliminde olabilirler. Tahkimat yapımı esnasında direkler üzerine yeteri kadar kama koymadan veya kömür kazısı esnasında ilk olarak yukarıdan taş-kavlak düşmesini önleyecek şekilde kama-takoz gibi tahkimatları koymadan çalışma, bütün çalışmalara başlamadan önce çevre kontrolü yapmadan çalışmaya başlama gibi durumların hepsi çalışanların aceleci tutumlarıyla bağdaştırılabilir.

Bu bilgilerden de anlaşılacağı üzere yeraltı kömür madenlerinde gerek değişen koşullar ve jeolojik özellikler, gerekse maden tasarımıyla ilgili hatalar ve noksanlıklar, çalışanların yaptıkları hatalar veya maruz kaldıkları durumlar gibi göçük ve taş –kavlak düşmesini etkileyebilecek pek çok etmen bulunmaktadır. Bu nedenle, göçüklerle ilgili belirsizliklerle baş edebilmek amacıyla sonuç etkilerinin düşürülmesi ve kazaların önlenmesi, koruyucu önleyici tedbirler alınabilmesi amacıyla risk değerlendirme yöntemlerinin kullanılması gerekmektedir.

2.3. RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Göçük ve taş-kavlak düşmelerinden kaynaklanan kazaları önleyebilmenin en iyi yollarından biri, oluşabilecek tehlike ve riskleri tespit etmek amacıyla risk değerlendirmesinin uygulanmasıdır. Güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamı oluşturmak için İSG ile ilgili kavramların iyi bir şekilde anlaşılması gerekir. Bu kavramlardan ilki ‘tehlike’dir. Tehlike Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tarafından (1950) bir nesne ya da belli koşulların, etkenlerin insan

sağlığı ve çevre için olumsuzluk içermesi şeklinde tanımlanırken, OHSAS 18001’de (2007) ise insan yaralanması ya da hastalığına neden olabilecek kaynak, faaliyet veya durum olarak tanımlanmıştır [48]. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununda ise tehlike “*İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek, çalışanı veya işyerini etkileyebilecek zarar veya hasar verme potansiyeli*” olarak tanımlanmıştır [38].

İkinci önemli kavram ise ‘risk’ kavramıdır. Risk Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) tarafından belli bir dönemde veya koşullar altında istenmeyen olayın ortaya çıkma olasılığı, çevre koşullarına göre sıklık ve olasılık olarak tanımlanırken, OHSAS 18001’de (2007) “*Tehlikeli bir olayın veya maruz kalmanın meydana gelme olasılığı ve sonuçlarının kombinasyonu*” şeklinde tanımlanmıştır [48]. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununda ise risk “*Tehlikeden kaynaklanacak kayıp, yaralanma ya da başka zararlı sonuç meydana gelme ihtimali*” olarak tanımlanmıştır [38].

Risk değerlendirmesi ise 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununda “*İşyerinde var olan ya da dışarıdan gelebilecek tehlikelerin belirlenmesi, bu tehlikelerin riske dönüşmesine yol açan faktörler ile tehlikelerden kaynaklanan risklerin analiz edilerek derecelendirilmesi ve kontrol tedbirlerinin kararlaştırılması amacıyla yapılması gerekli çalışmalar*” şeklinde tanımlanmıştır [38]. Risk değerlendirmesi ilk olarak 20. yüzyılın başlarında savunma sanayi ve uzay çalışmaları ile başlamış olup, ilk defa NASA tarafından geliştirilen MIL-STD-882 nolu standart bu alandaki gelişmelerin önünü açan ilk sistemli belge olmuştur [48]. Risk değerlendirmesi metodunun ortaya çıkması, ciddi bir kaza veya olay meydana geldiğinde, bilim adamları çeşitli sorular sormaya başlaması ve kazaların meydana gelme mekanizmalarını açıklamaya çalışmalarıyla oluşmuştur. Bunun sonucunda çeşitli disiplinlerde Olası Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA), Hata Ağacı Analizi (FTA), Olay Ağacı Analizi (ETA), Tehlike ve Çalışabilirlik Analizi (HAZOP) vb. risk değerlendirme metodolojilerini üretmişlerdir [48].

1979’da, Nükleer Düzenlemeler Komisyonu üyelerinden N.Rasmussen ve mühendislerden oluşan ekibi nükleer santrallerin kendi bütünlükleri içinde ilk tüm “risk analizi” çalışmalarını gerçekleştirmişler, çeşitli kaza senaryolarının oluşa gelme olasılıklarını hesaplamışlar ve sonuçlarını değerlendirmişlerdir. Araştırma temelde Hata Ağacı yöntemine dayanarak gerçekleştirilmiştir [48].

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve ilgili yönetmeliklerce Türkiye’de işyerlerinde risk değerlendirilmesi yapılması zorunlu hale getirilmiştir [38]. İşyerlerinde var olan risklerin

tespit edilebilmesi için pek çok risk değerlendirmesi metodu mevcuttur. Bunlar nitel, nicel, veya yarı-nicel olabilmektedir. Nicel risk analizi, riski hesaplarken sayısal yöntemlere başvurur. Nitel risk analizinde tehdidin olma ihtimali, tehdidin etkisi gibi değerlere sayısal değerler verilir ve bu değerler matematiksel ve mantıksal metotlar ile proses edilip risk değeri bulunur. Diğer temel risk analizi yöntemi ise nitel risk analizidir. Nitel risk analizi riski hesaplarken ve ifade ederken numerik değerler yerine yüksek, çok yüksek gibi tanımlayıcı değerler kullanır. Yarı nicel yöntemler; sonuç ve olasılıklar için sayısal derecelendirme ölçeklerinden faydalanır ve risk düzeyini belirlemek için formül kullanmak suretiyle bunları bir araya getirir. Ölçekler doğrusal veya logaritmik olabilir ya da başka türden bir ilişki içerebilir. Kullanılan formüller de değişiklik gösterebilir [48].

Aynı zamanda risk değerlendirme metotları tümdengelimli ve tümevarımlı olarak da sınıflandırılmaktadır. Tümevarım metotları özellikli nedenlerden genel sonuçlara doğru yaklaşan analizleri temsil eder. Diğer bir deyişle eğer belirli bir hatanın sistem üzerindeki etkisi araştırılmak isteniyorsa bu bir tümevarım metodudur. Tümevarım metodu uygulayan risk değerlendirme metotlarından bazıları Ön Tehlike Analizi (PHA), Hata Türleri ve Etkileri Analizi (FMEA) ve Olay Ağacı Analizi (ETA)'dir [6]. Tümdengelim yaklaşımı ise genelden özele inen bir metottur. Bu yaklaşımdaki amaç sistemi bozan etmenlerin tespit edilmesidir. Kaza araştırmaları tümdengelim metotlarına verilebilecek en iyi örneklerden biridir. Hata Ağacı Analizi (FTA) metodu bir tümdengelim risk değerlendirme metodudur [6].

Göçük ve taş-kavlak düşmelerinin önceden tespit edilememesi durumu tehlikeli olay veya durum olarak nitelendirilmesine sebep olmaktadır. İkinci adım ise göçük ve taş-kavlak düşmesi olasılığının belirlenmesidir. Bu aşamada yaşanabilecek kazaların öngörü ve tahminleri yapılır. Diğer bir deyişle, göçüklerin (tehlikenin) hesaplanan olasılıkları aslında göçüklerin öngörülemeyen doğası ile baş edebilmek için uygulanan sistematik bir tahmin sistemidir. Tehlike belirli bir zaman içerisinde meydana gelen göçük ve taş-kavlak düşmelerinin olasılıklarının hesaplanmasıyla bulunabilir. Risk ise bu olasılıklılar ile tehlikenin sonuçlarının ilişkilendirilmesi neticesinde bulunur. Aynı tehlikenin madenin farklı bölümlerinde olması nedeniyle veya farklı koşullar altında olması nedeniyle farklı sonuçları olabilmektedir. Hatta, aynı bölümdeki tehlikelerin ölüm, sakatlık, yaralanma, ekipman bozulması gibi farklı sonuçları da olabilmektedir [31].

3. GEREÇ VE YÖNTEMLER

3.1. ÇALIŞMANIN AMACI VE GENEL BİLGİLER

Bu çalışmanın amacı yeraltı taşkömürü madenlerinde göçük oluşumu ve taş-kavlak düşmesi nedeniyle meydana gelen kazaların nedenlerinin araştırılmasıdır. Tezin Genel Bilgiler kısmında göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının dünyadaki yeraltı kömür madenlerinde genel bir problem olduğundan bahsedilmiştir. Türkiye’deki taşkömürü madenlerinde yaşanan taş-kavlak düşmesi ve göçük kaza kayıtlarına bakılacak olursa, Zonguldak taşkömürü havzasında bulunan beş taşkömürü işletmesinde 2000 – 2014 yılları arasında 40 472 iş kazası meydana gelmiş ve bunların 15 813’ünün, yani yaklaşık %39’unun göçük ve taş-kavlak düşmesi sonucunda olduğu görülmüştür. Bu beş işletmede 2000-2014 yılları arasında meydana gelen toplam ve göçük-taş/kavlak düşmesi nedeniyle oluşan kaza sayıları Tablo 3.1.’de verilmektedir.

Tablo 3.1. Toplam ve Göçük-Taş/Kavlak Düşmesi Kaza Sayıları

İşletme	Toplam Kaza	Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi Kazaları	Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi Kazalarının Toplam Kazalara Oranı (%)
A	4 261	1 675	39,31
B	3 973	1 744	43,90
C	17 049	7 328	42,98
D	7 731	1 910	24,71
E	7 458	3 156	42,32
Toplam	40 472	15 813	39,07

Bu istatistiklere bakıldığında, göçük ve taş-kavlak düşmelerinin Türkiye’deki yeraltı kömür madenlerinde yaralanma ve ölümle sonuçlanan kazaların başlıca nedenlerinden biri olduğu görülmektedir. Bu nedenle bu çalışmasının konusu göçük ve taş-kavlak düşmesi nedeniyle meydana gelen kazaların kök-nedenlerinin araştırılması ve belirlenen kök-nedenler doğrultusunda önleyici, koruyucu tedbirlerin belirlenmesi olarak seçilmiştir.

Tez çalışma konusunun belirlenmesiyle birlikte, yeraltı madenlerinde ve özellikle yeraltı kömür madenlerinde yaşanan göçüklükler ve taş-kavlak düşmeleriyle ilgili bir literatür araştırması yapılmış ve bu kazaların ana nedenlerinin tespit edilebilmesi amacıyla kullanılabilecek risk değerlendirmesi metodları araştırılmıştır. Yapılan araştırmalar neticesinde çalışmanın amacına ulaşabilmesi için meydana gelen göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının kök-nedenlerinin tespiti amacıyla Hata Ağacı Analizi (HAA) yönteminin kullanılmasına karar verilmiştir. Göçük

ve taş-kavlak düşmelerinin nedenlerinin belirlenmesinin amaçlanması sebebiyle, HAA metodunun tümdengelim metodu olması ve sistemde genelden özele doğru inebilmesi bu metodun seçilmesindeki nedenlerden biridir. Bu sayede HAA metodu bu kazalara neden olabilecek kök-nedenlerin tespiti için en etkili yöntemlerden biri olmaktadır. Bununla birlikte, hem sözel olarak bütün nedenleri belirleyebilmek için nitel olarak uygulanabilmesi, hem de olayların olasılıklarını tespit etmekte kullanılabileceği için nicel olarak uygulanabilir olması da HAA metodunun tercih edilmesindeki bir diğer etkindir.

Literatür araştırmalarının ardından ilk olarak Ağustos 2014 ve Nisan 2015 tarihlerinde Bartın ve Zonguldak illerinde bulunan taşkömürü işletmelerine saha ziyaretleri gerçekleştirilmiştir. Ziyaret esnasında çalışmanın amacı anlatılmış, çalışma için destek talep edilmiş, her işletmede meydana gelen kaza verileri ve diğer gerekli dokümanlar alınmış ve yeraltına inilerek g  ğe neden olabilecek sebepler ve tahkimat sistemleri yerinde incelenmiştir. Kaza verilerinin incelenmesinin ardından, Hata Ağacı Analizi metodunun incelenen beş yeraltı taşkömürü işletmesi arasından Tablo 3.1.'de belirtilen "E İşletmesinde" yapılmasına karar verilmiştir. Bunun nedenleri g  k ve taş-kavlak düşmesi kazalarının en fazla yaşandığı işletmelerden biri olması ve kaza verilerinin diğer işletmelere göre daha muntazam tutuluyor olmasıdır.

Pilot işletmenin seçilmesinin ardından 2-6 Kasım 2015 tarihleri arasında saha ziyareti gerçekleştirilmiştir (Resim 3.1.). Saha ziyaretinde önceden hazırlanmış işletmeyle ilgili sorular doğrultusunda yeraltına inilerek saha mühendisleriyle birlikte ayaklar detaylı olarak gezilmiş, kullanılan yöntemler, ayaklardaki çalışma koşulları, tahkimat sistemleri yerinde incelenmiş ve çalışanlarla görüşülmüştür. Sahanın incelenmesinin yanı sıra işletmenin risk değerlendirmesi, kullanılan kişisel koruyucu donanımlar, verilen eğitimler, çalışan sayıları, çalışma saatleri gibi bilgiler de edinilmiştir.

Çalışmanın amacına ulaşabilmesi için gereken bileşenler sırasıyla ilk olarak işletmelerde meydana gelen kaza verilerinin toplanması ve ardından seçilen 'E işletmesinde' meydana gelen g  k ve taş-kavlak düşmesi ile ilgili oluşan kazalarının nedenlerini anlatan bir veri tabanı oluşturulmasıdır. Bu veri tabanı oluşturulurken işletmeden elde edilen 2000-2014 yılları arasında meydana gelen kaza verileri başta olmak üzere, diğer doküman ve bilgiler kullanılmıştır. Edinilen kaza verileri tablosunda;

- Kaza geçirilen işletme,
- Kazanın gerçekleştiği yer (ayak, baca, hazırlık vb.) ve kotu,
- Kaza tarihi ve saati,

- Kaza sebebi (göçük, elektrik, makine, nakliyat, vb.),
- Kazanın kaynağı (taş-kavlak düşmesi, tahkimat kırılması, vb.),
- Kaza geçiren çalışanın adı, soyadı, sicil numarası, doğum tarihi, görevi, tahsil durumu ve işe başlama tarihi,
- Kaza sonucu (ölü, yaralı vb.),
- Kaza esnasında yapılan iş (kömür kazısı, tahkimat yapımı, vb.),
- Yaralanan uzuvlar,
- Kazanın kısa açıklaması,
- Kaza sonucunda çalışanın istirahat başlangıç ve bitiş tarihleri ve toplam istirahat süresi bilgileri yer almaktadır.



Resim 3.1. Yeraltı Taşkömürü İşletmesine Gerçekleştirilen Saha Ziyareti

Veri tabanı oluşturulurken bu veriler doğrultusunda ilk olarak bütün kazalar içinden göçük ve taş-kavlak düşmesi kazaları belirlenmiştir. Ardından oluşan kazaların sonuçları incelenerek, kazaların ölüm, ağır yaralanma, yaralanma ve hafif yaralanma şeklinde sınıflandırıldığı görülmüştür. Kaza sonuç sınıflandırmalarını ve kazalar sonucunda toplam istirahat sürelerini gösteren veriler Tablo 3.2.'de gösterilmektedir. Bu verilere göre kazaların yaklaşık %11'i ağır yaralanma ve ölümle sonuçlanmış ancak kayıp gün açısından bakıldığında ağır yaralanmayla sonuçlanan kazalardan sonra alınan istirahatler toplamının (%46) neredeyse yaralanma ve hafif yaralanmayla sonuçlanan kazalardan alınan istirahatler toplamına eşit olduğu görülmektedir. Bu durum da ağır yaralanmalı kazaların sonuçlarının önemini göstermektedir. 15 yıllık süre

zarfında yalnızca göçük ve taş-kavlak düşmesi nedeniyle 12 ölümlü kaza ise oldukça yüksek bir orandır. Bu nedenle Hata Ağacı Analizi uygulanırken seçilen işletmede 2000-2014 yılları arasında meydana gelen, ağır yaralanma ve ölümle sonuçlanan göçük ve taş-kavlak düşmesi kazaları incelenmiştir.

Tablo 3.2. Kaza Sonuçlarına Göre Kaza Sayıları ve Kayıp Gün Toplamı

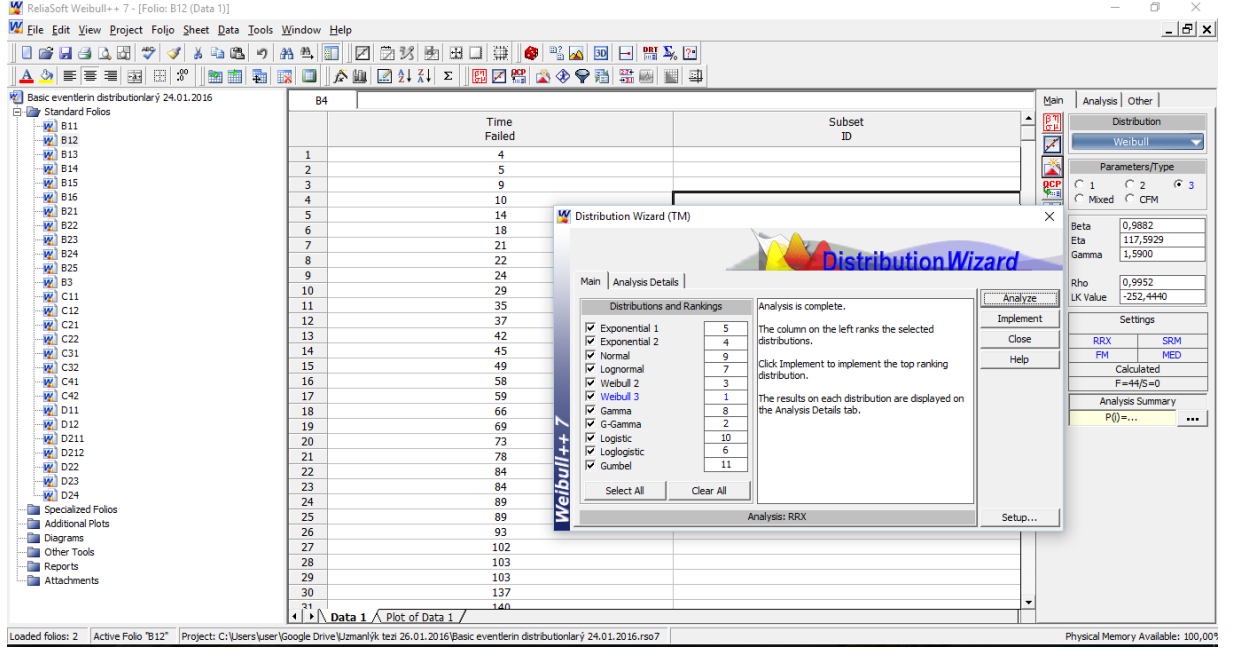
Kaza Sonucu	Kaza Sayısı	Kayıp Gün
Hafif Yaralı	1 480	10 595
Yaralı	1 341	26 478
Ağır Yaralı	323	32 044
Ölüm	12	-
Toplam	3 156	69 117

Daha sonra ağır yaralanma ve ölümle sonuçlanan göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarını oluşturabilecek hata ağacını oluşturan nedenler belirlenmiştir. Oluşturulan hata ağacı ve uygulanan analiz tezin Bulgular bölümünde anlatılmaktadır. Veri tabanında ise hata ağacının kök-nedenlerini oluşturan temel olaylar yer almaktadır. Tespit edilen 27 temel olayın her biri için meydana gelen 335 ölümlü ve ağır yaralı kaza değerlendirilmiş, her bir kazanın hangi nedenlerden dolayı oluştuğu tespit edilmiştir.

Kök nedenlerin belirlenmesi için Hata Ağacı Analizi yöntemi Reliasoft BlockSim© 7 programı ve olasılık dağılımları için ise Reliasoft Weibull++ 7 (2011) programı kullanılmıştır.

Weibull++7 programı her bir neden için, bu nedenin etkisiyle meydana gelen kazalar arasındaki gün farklarını kullanarak, bu nedenlerin olasılık dağılımlarını hesaplamaktadır. Diğer bir deyişle, her bir neden için, o nedenin etkisiyle oluşan bütün kazalar arasındaki gün farkları tespit edilerek, bu gün farklarının programa girilmesiyle her bir olayın dağılımı bulunmaktadır. Resim 3.2.'de Weibull++7 programının kullanımından bir örnek ekran alıntısı görülmektedir. Bu örnek görüntüde B12 olayının olasılık dağılımı hesaplanmaktadır. Ekran görüntüsünde ilk sütunda bu olayın etkisinin olduğu kazalar arasındaki gün farkları yer almaktadır. Açılan kutuda ise on bir farklı dağılım arasından, bu gün farklarından yararlanarak olaya en uygun dağılım belirlenmektedir. Örnek olarak verilen ekran alıntısında görüldüğü üzere B12 olayının dağılımı Weibull-3 parametrelili dağılım olarak tespit edilmiştir.

Weibull++7 programı kullanılarak, hata ağacında tespit edilen 27 temel olayın olasılık dağılımları belirlenmiştir.



Resim 3.2. Weibull++7 Programı Kullanımı Ekran Resmi

Çalışma kapsamında 27 temel olay için; dört ayrı dağılım kullanılmıştır. Üstel, Log-normal, Weibull 2-parametrelili ve 3-parametrelili dağılım olarak tespit edilen bu olasılık dağılımlarının açıklamaları aşağıda anlatılmaktadır.

- **Weibull dağılımı** en yaygın olarak kullanılan, yaşama, hayatta kalım ve yetmezlikle yıkım süreçlerini inceleyen dağılımlardan biridir. Değişik parametre değerleri kullanılarak normal dağılım, üstel dağılım gibi çok popüler diğer istatistiksel dağılımların davranışların Weibull dağılımı kullanarak aynen taklit etme imkânı bulunmaktadır. Weibull şekil parametresi olan β 'ya bağlı olarak farklı tip dağılımların özelliklerini gösterebilen çok amaçlı bir dağılımdır. Olasılık kuramı ve istatistik bilim dallarında Weibull dağılımı bir sürekli olasılık dağılımı olup 3-parametrelili, 2-parametrelili ve 1-parametrelili olabilmektedir. **3-parametrelili Weibull** dağılımı aşağıdaki gibi gösterilmektedir [49];

$$f(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta-1} e^{-\left(\frac{t-\gamma}{\eta}\right)^{\beta}} \quad (3.1)$$

$$f(t) \geq 0, t \geq 0 \text{ veya } \gamma$$

$$\beta > 0, \eta > 0$$

$$-\infty < \gamma < +\infty$$

η = ölçek parametresi,

β = şekil parametresi (veya eğim),

γ = konum parametresi

2-parametrelili Weibull dağılımı ise konum parametresi olan γ 'nın 0 olduğu durumdur.

- **Üstel dağılım** sabit bir başarısızlık oranına sahip olayların dağılımını göstermek için kullanılır. Üstel dağılımın tek bir şekli olduğu için şekil parametresi bulunmamaktadır. Üstel dağılım aşağıdaki gibi gösterilmektedir [49];

$$f(t) = \lambda e^{-\lambda(t-\gamma)} \quad (3.2)$$

$$f(t) \geq 0, \lambda > 0, t \geq 0 \text{ veya } \gamma$$

Konum parametresi: γ

$$\text{Ölçek parametresi: } \frac{1}{\lambda} = \bar{t} - \gamma = m - \gamma$$

$$t \rightarrow \infty, f(t) \rightarrow 0$$

- **Lognormal dağılım** normal dağılıma benzerlik gösteren bir dağılım türüdür. Rassal değişkenin logaritması normal dağılım özelliği gösteriyorsa, rassal değişken lognormal dağılır. Lognormal dağılım aşağıdaki gibi gösterilmektedir [49];

$$f(t') = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{t'-\mu}{\sigma}\right)^2} \quad (3.3)$$

$$t' = \ln(t) * t$$

μ = başarısızlık zamanlarının doğal logaritma ortalamaları

σ = başarısızlık zamanlarının doğal ortalamalarının standart sapması

Weibull++7 programı bu dağılımların formüllerini kullanarak girilen zaman farklarına göre her olayın dağılımını tespit etmek için kullanılmıştır.

BlockSim-7 programı ise ilk olarak hata ağacının oluşturulması için kullanılmıştır. Daha sonra, belirlenen temel olaylar için Weibull++7 programından gelen dağılım sonuçları Blocksim-7 programına girilerek analizin yapılması için kullanılmıştır. Blocksim-7 programı kullanılarak yapılan hata ağacı analizi sonucunda incelen işletmede ortalama kaç günde bir bu kazaların meydana gelmesinin beklendiği, bu kazalara neden olan temel olayların öncelik sıralamaları gibi bilgiler elde edilmiştir.

Tepe olayın yani “göçük ve taş-kavlak düşmesi sonucunda meydana gelen kazalar”ın oluşmasına en fazla neden olan , diğer bir deyişle ilk başta önlem alınması gereken kök nedenler, sisteme bağımlı bir şekilde her bir olayın öneminin sistemin önemine göre

hesaplanmasıyla bulunur. Güvenilirlik önemi her bir bileşenin sistem üzerinde ne kadar etkisinin olduğunu belirlemek için kullanılır. Bu hesaplama yapılarak sistem üzerinde en çok etkisi olan, yani kazalara en çok neden olan olaylar tespit edilebilmekte ve sonucunda koruyucu ve önleyici tedbirlerin ilk olarak hangi olaylara karşı alınması gerektiği belirlenebilmektedir. Güvenilirlik önemi olarak tanımlanan bu durum aşağıdaki gibi anlatılmaktadır [49];

$$I_{Ri} = \frac{\partial R_S}{\partial R_i} \quad (3.4)$$

I_R: Güvenilirlik önemi

i: Sistemdeki bir bileşen

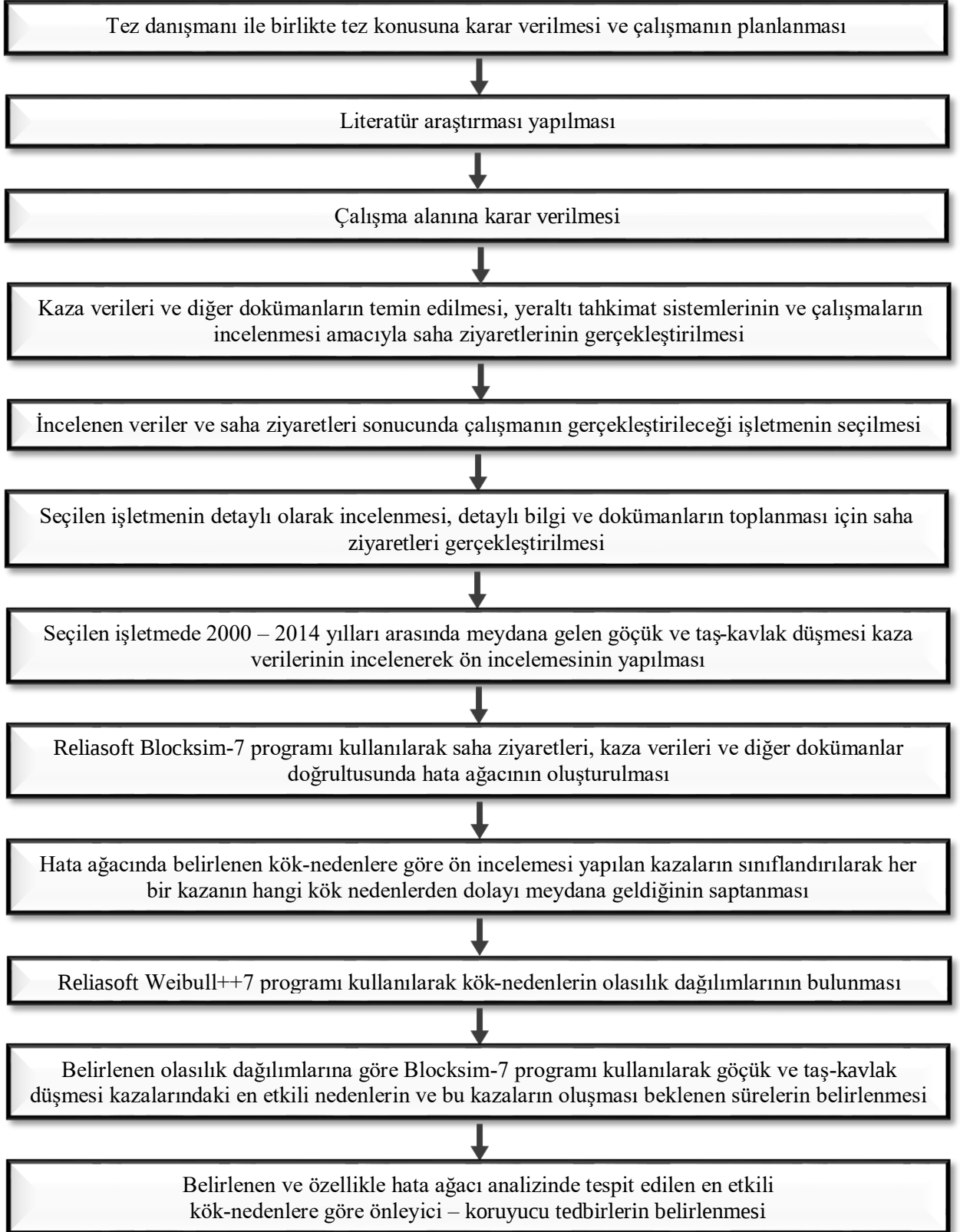
R_s: Sistem güvenilirliği

R_i: Bileşen güvenilirliği

Bu bilgiler doğrultusunda Blocksimsim-7 programı kullanılarak hata ağacı analizi kapsamında göçük ve taş-kavlak düşmesine neden olan temel olaylar en fazla etki edenden en az etki edene doğru tespit edilmiş olup, ilk olarak önlem alınması gereken olaylar tespit edilmiştir.

Daha sonra oluşturulan veri tabanı ve uygulanan Hata Ağacı Analizi sonucunda elde edilen sonuçlar kullanılarak özellikle seçilen işletmede olmak üzere, diğer işletmelerde ve de genel olarak yeraltı kömür madenlerinde göçük ve taş-kavlak düşmesi kazaları için önleyici, koruyucu tedbirlerin belirlenmesi aşamaları gerçekleştirilmiştir.

Tez çalışmasının bütün aşamalarını gösteren akış şeması Şekil 3.1.'de gösterilmektedir.



Şekil 3.1. Tez Akış Şeması

3.2. İŞLETME HAKKINDA GENEL BİLGİLER

Seçilen işletme Zonguldak kömür havzasında bulunmaktadır. İşletme jeolojisi incelendiğinde, işletmede kömürlü serilerin genelde bir senklinal¹⁶ teşkil ettiği görülmektedir. Senklinalin güney kanadında eğimler yüksek ve damarlar dik, kuzey kanadında ise daha azdır. Havzadaki kömür damarlarının jeolojik yönden iki ana problemi vardır. Damarların sedimantasyonu sırasında meydana gelen hızlı çökmeler genellikle damarların kalınlıklarında ani değişimlere neden olduğu gibi yanal ve düşey yönde devamlılıklarını da olumsuz yönde etkilemiştir. Ayrıca, damarların çökmesi sırasında gelişen tektonik etkilerle oluşan çok sayıda fayın ve iki ayrı orojenezin¹⁷ meydana getirdiği antiklinaller¹⁸ ve senklinaller kömür damarlarının eğimli bir yapı kazanmasına neden olmuştur. Havzada etkili olan basınçlar konglomera ve kumtaşı gibi sert kayaçlar ile kil taşı, silt taşı ve kömür gibi yumuşak kayaçlar üzerinde farklı oranlarda sıkışma meydana getirmiştir. Havzanın yoğun olarak tektonizmaya maruz kalmış olması, irili ufaklı çok sayıda fayın ve süreksizliklerin üretim alanlarını birçok parçaya ayırması gibi nedenler işletmecilik faaliyetlerini zorlaştırmaktadır. Damar meyillerinin 0°-90° arasında değişmesi farklı üretim metotlarının uygulanmasını gerektirmektedir. İşletme sahası içinde kalan ve kalınlıkları 0,6-4,0 metre arasında değişen 18 adet kömür damarı mevcuttur. Çalışılan ortalama damar kalınlığı ise 2013 yılı itibarıyla 2,63 metredir [50] [51].

İşletmede ayaklarda tam veya yarı mekanizasyon uygulanmasının bölgenin jeolojik koşulları nedeniyle uygun olmadığı belirtilmektedir. Bu nedenle emek yoğun klasik çalışma sistemi uygulanmaktadır. Bununla birlikte galerilerde kesit daralması nedeniyle devamlı tamir-tarama çalışması yapılmaktadır. Taban kabarması ise işletmede sıkça karşılaşılan sorunlardan biridir [51].

Üretim dönümlü/ilerletimli göçertmeli uzun ayak yöntemiyle gerçekleştirilmekte olup doğu-batı yönünde taş içinde sürülmektedir. Dönümlü/ilerletimli göçertmeli uzun ayak yönteminde arın gerisinde tahkimat sistemi olarak ağaç domuz damı kullanılmaktadır. Bu domuzdamları işletmede hem tavan yükünü daha iyi taşıyabilmesi hem de tahkimat sisteminin güvenilirliğinin artırılması ve kullanılan ağaç malzemenin daha fazla miktarda geri kazanımının sağlanması,

¹⁶Jeolojik devirlerde meydana gelen tektonik hareketler sonucu formasyonların kıvrılması suretiyle oluşan tekne şeklindeki formasyon kısmı [14]

¹⁷Dağ oluşumu, jeosenklinallerde biriken tortul tabakaların kıvrılma ve kırılma hareketleriyle yükselmesi olayı

¹⁸Jeolojik devirlerde meydana gelen tektonik hareketlerle formasyonlarda oluşan kıvrımların semer şeklinde olan kısmı[14]

söküm ve montajının daha hızlı ve güvenli yapılmasını sağlamak amacıyla arasına şişme yastıklar koyularak uygulanmaktadır. Resim 3.3.'de domuzdamları arasına konan şişme hava yastığı örneği görülmektedir. Bu şişme hava yastıklı pnömatik domuz damı, göçertmeli uzun ayaklarda ön gerilmeli ahşap domuz damı olarak da adlandırılmaktadır. Şişme hava yastıklı pnömatik domuz damı uygulama alanlarının yaygınlaştırılmasıyla hem ağaç malzeme kayıplarının en aza indirilmesi hem de montaj ve söküm sürelerinin kısalması ve bu aşamada ortaya çıkan iş kazalarının da azaltılması amaçlanmaktadır. Özellikle ayakta çalışan işçilerin kendilerini daha güvende hissetmelerinin getireceği uygun çalışma düzeni ile verimliliğin de artırılması sağlanmış olacağı düşünülmektedir [51].



Resim 3.3. Şişme Hava Yastıklı Pnömatik Domuzdamı [21]

İşletmede tahkimat olarak domuzdamları dışında ağaç ve demir tahkimatlar kullanılmaktadır. Ağaç tahkimat olarak sarma, direk, kama, takoz kullanılmaktadır. Sarma ve direğin malzemesi çam ağacından yapılmakta, domuzdamları için meşe, kayın ve gürgen ağaçları kullanılmakta ve kama sürenler için ise çam, meşe ve kayın ağaçlarından arta kalan malzemeler kullanılmaktadır. Demir tahkimat olarak ise hidrolik direk ve çelik sarmalar kullanılmaktadır. Lağım hazırlığı esnasında demir tahkimat olarak “I-profil rijit demir bağlar” ve “T-H profil geçmeli bağlar” kullanılmaktadır. Her ikisinde de yardımcı tahkimat elemanları olarak ağaç kama, sac kama, tel kama, ağaç fırça ve demir fırça kullanılmaktadır. Kavşaklarda beton tahkimat kullanılmakta ve basıncın yüksek olduğu durumlarda beton tahkimat içerisine demir konulmaktadır. Akıcı arınlarda ise kaymayı önlemek için arın kapakları kullanılmaktadır. Kazı aracı olarak ise martopikör ve kazmaya ilaveten sert kömür aynaları dinamit ile gevşetilmektedir. İşletmede kullanılan tahkimat örnekleri Resim 3.4., Resim 3.5. ve Resim 3.6.'de görülmektedir.



Resim 3.4. T-H Bağlı Demir Tahkimat rneği [22]



Resim 3.5. elik Tahkimat rneği [22]

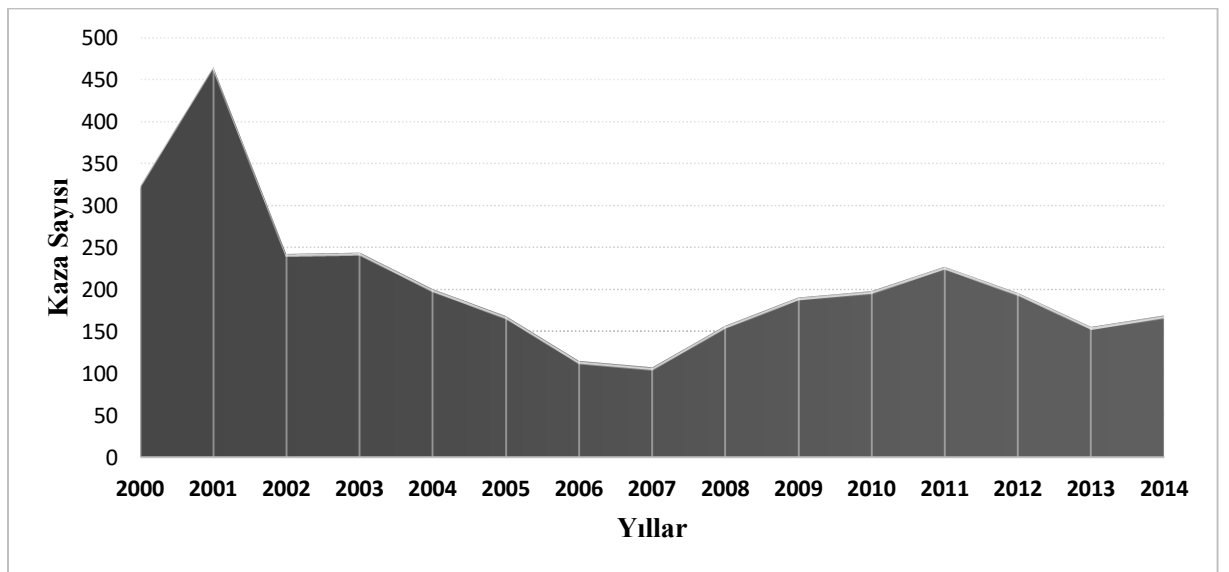


Resim 3.6. Ağaç Tahkimat rneği [22]

İşletmede 2013 yılında, ortalama ayak sayısı beş ve ortalama ayak boyu ise 200'dür [51]. Ocak 2016 itibarıyla işletmede 1440 yeraltında ve 200 yerüstünde olmak üzere toplam 1640 personel ve idari olarak 232 personel çalışmaktadır. Yeraltında çalışanların %35'i Pano-Ayak Üretim İşçisi, %24'ü Nakliyat İşçisi, %14'ü Hazırlık İşçisi ve geri kalan %27'si diğer sanat dallarında çalışmaktadır [52].

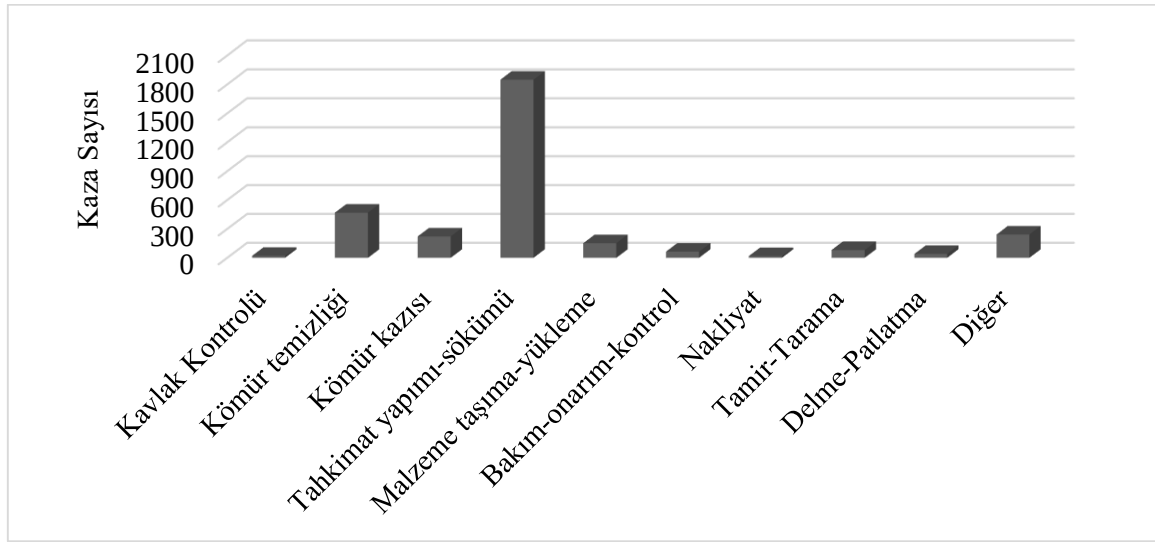
Seçilen 'E işletmesinde' meydana gelen bütün kazalar incelendiğinde, 2000-2014 yılları arasında toplam 7458 iş kazası meydana geldiği ve bu kazaların 21'inin ölümlü sonuçlandığı görülmüştür. Bu ölümlü kazaların 12 tanesi göçük veya kavlak düşmesi nedeniyle, üç tanesi nakliyat esnasında, iki tanesi muhtelif nedenlerden (düşme ve ezilme), iki tanesi kalp krizi nedeniyle, bir tanesi patlatma esnasında ve bir tanesi gaz zehirlenmesi nedeniyle meydana gelmiştir. Bu verilerden de anlaşılabileceği gibi en fazla ölümlü kaza göçük ve taş-kavlak düşmesi nedeniyle meydana gelmiştir.

Bununla birlikte, 2000 – 2014 yılları arasında meydana gelen kazaların %42'si göçük ve taş-kavlak düşmesi sebebiyle meydana gelmiştir. Gerçekleşen bu göçük ve taş/kavlak düşmesi kazalarının dağılımı Grafik 3.1.'de gösterilmektedir. Bu grafikten de görüleceği gibi 2000 ve 2001 yıllarında oldukça yüksek olan göçük ve taş-kavlak düşmesi kazaları 2006 yılına yaklaştıkça azalmakta ve daha sonra yılda ortalama 168 kazayla 2014 yılına kadar devam etmektedir. 15 yıllık süre içerisinde bakıldığında ise yılda ortalama 210 göçük ve taş-kavlak düşmesi kazası gerçekleştiği görülmüştür.



Grafik 3.1. Göçük ve Taş/Kavlak Düşmesi Kazalarının Yıllara Göre Dağılımı

Grafik 3.2.'de, 2000-2014 yılları arasında seçilen işletmede göçük ve taş-kavlak düşmesinden kaynaklanan kazaların yapılan işlere göre dağılımı verilmiştir. Bu grafik incelendiğinde, kazaların en fazla tahkimat yapım ve sökümü esnasında gerçekleştiği görülmektedir. Burada bahsedilen tahkimat yapım ve söküm işleri ağaç ve çelik tahkimatların ve domuzdamlarının yapım ve söküm işlerinin tamamını kapsamaktadır. Tahkimat işlerinden sonra ise en fazla göçük ve taş/kavlak düşmesi kazası; pasa temizliği, kömür kazısı ve malzeme taşıma ve yükleme işleri esnasında meydana gelmiştir.



Grafik 3.2. Göçük ve Taş/Kavlak Düşmesi Kazaları Esnasında Yapılan İşler

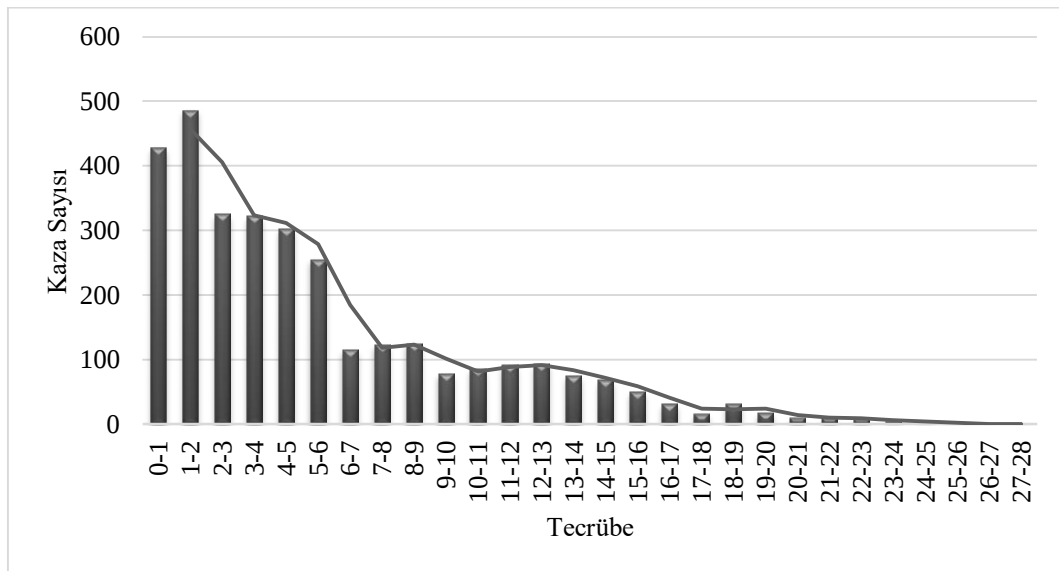
Çalışma sahasında yapılan incelemeler sonucunda her çalışanın işe girişlerde yirmi bir gün süren intibak eğitim aldıkları görülmüştür. Bu eğitim süresince kömürün oluşumuyla ilgili genel bilgiler, maden emniyeti, iş hukuku, tahkimat bilgisi, nakliyat bilgisi, hazırlık bilgisi, elektrik bilgisi, havalandırma bilgisi, ilkyardım bilgisi, malzeme bilgisi başlıkları altında genel bilgiler verilmekte ve bu sürecin sekiz günü boyunca tatbikat adı altında pratik eğitimler verilmekte, eğitim sonucunda ise sınav uygulanmaktadır. İşe girişten sonra ise periyodik olarak yenileme eğitimleri verilmekte, bunun dışında sanat dalını değiştiren, işinden en az altı ay süre boyunca ayrı kalanlara ayrı bir eğitim verilmekte, iki yıl süre boyunca işinden ayrı kalanlara ise baştan tekrar adaptasyon eğitimleri verilmektedir.

Göçük ve taş-kavlak düşmesi nedeniyle kaza geçirenler tahsil durumları açısından değerlendirildiğinde ise, beş çalışanın lise üzeri eğitim almış olduğu, on dört çalışanın tahsil durumlarının ise bilinmediği görülmüştür. Geri kalan çalışanların tahsil durumlarına

bakıldığında ise göçük ve taş-kavlak düşmesi kazası geçiren çalışanların %63'ü ilkokul mezunu, %19'u lise ve %18'i ortaokul mezunu olduğu görülmüştür.

Göçük ve taş-kavlak düşmesinden meydana gelen kazalar, çalışanların asıl görevleri açısından incelenmiş, kaza geçiren çalışanların %84'ünün Pano-Ayak Üretim İşçisi olarak çalıştığı görülmüştür. 2000-2014 yılları arasında göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının sayısının fazla olduğu diğer görevler ise hazırlık işçiliği (%9), tarama ve söküm işçiliği (%2) ve mekanizasyon ve pres işçiliğidir (%2). Geri kalan görevler esnasında göçük ve taş-kavlak düşmesinden yaralanma oranı ise %3'tür.

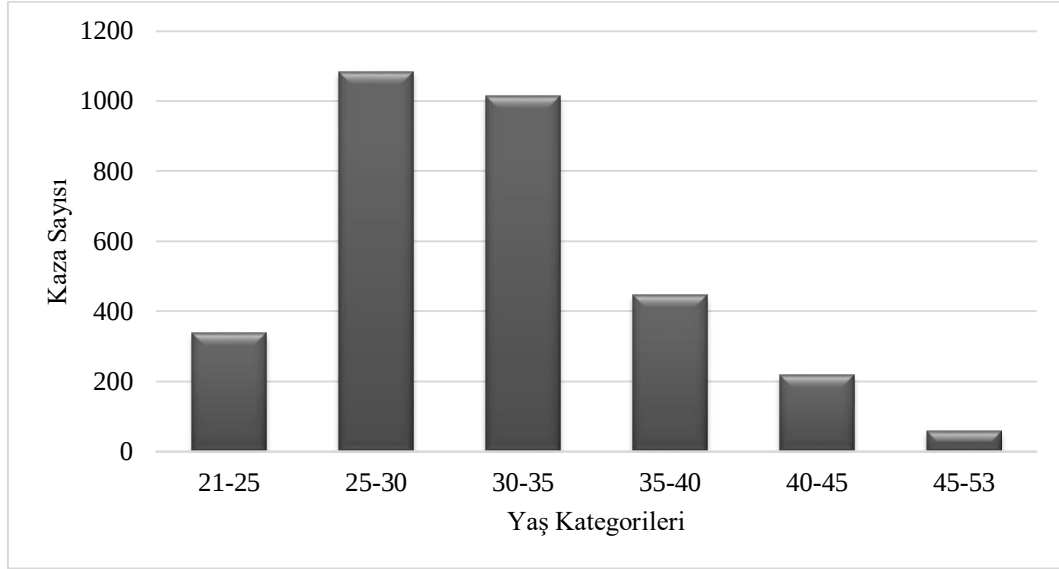
Göçük ve taş-kavlak düşmesi nedeniyle kaza geçiren çalışanların tecrübe dağılımları Grafik 3.3.'de verilmektedir. Bu grafiğe bakıldığında çalışmaya başlamanın ilk altı yılında kaza geçirme oranlarının ortalama 353 kaza ile oldukça yüksek olduğu, tecrübe arttıkça ise kaza geçirme oranlarının azaldığı görülmektedir. En fazla kaza geçirenlerin bir ile iki yıl arası tecrübesi olan çalışanlar olduğu ve yirmi yıl ve daha çok tecrübesi olan çalışanların ortalama beş kaza geçirdikleri, ilk beş yıldan sonra ise kaza sayısının büyük ölçüde azaldığı görülmektedir.



Grafik 3.3. Kaza Geçiren Çalışanlarının Tecrübelerine Göre Dağılımı

Göçük ve taş-kavlak düşmesi sebebiyle kaza geçiren çalışanların yaşa göre kaza sayılarının dağılımına bakıldığında ise kaza geçiren en genç çalışanın 21 yaşında, en yaşlı çalışanın ise 53 yaşında olduğu görülmüştür. Kaza geçiren çalışanların yaş gruplarına göre dağılımı ise Grafik 3.4.'de verilmiştir. Bu grafikte de görüldüğü gibi tecrübe ile aynı şekilde, yaş arttıkça kaza

sayılarında yüksek oranda azalma yaşandığı gözlemlenmektedir. 25-30 yaş arasındaki çalışanlar 1 085 kaza, 30-35 yaş arasındaki çalışanlar ise 1 014 kaza geçirmiş olup, bu yaş grubunun geçirmiş olduğu kazalar toplam kazaların %66,5'ine tekabül ettiği görülmektedir.



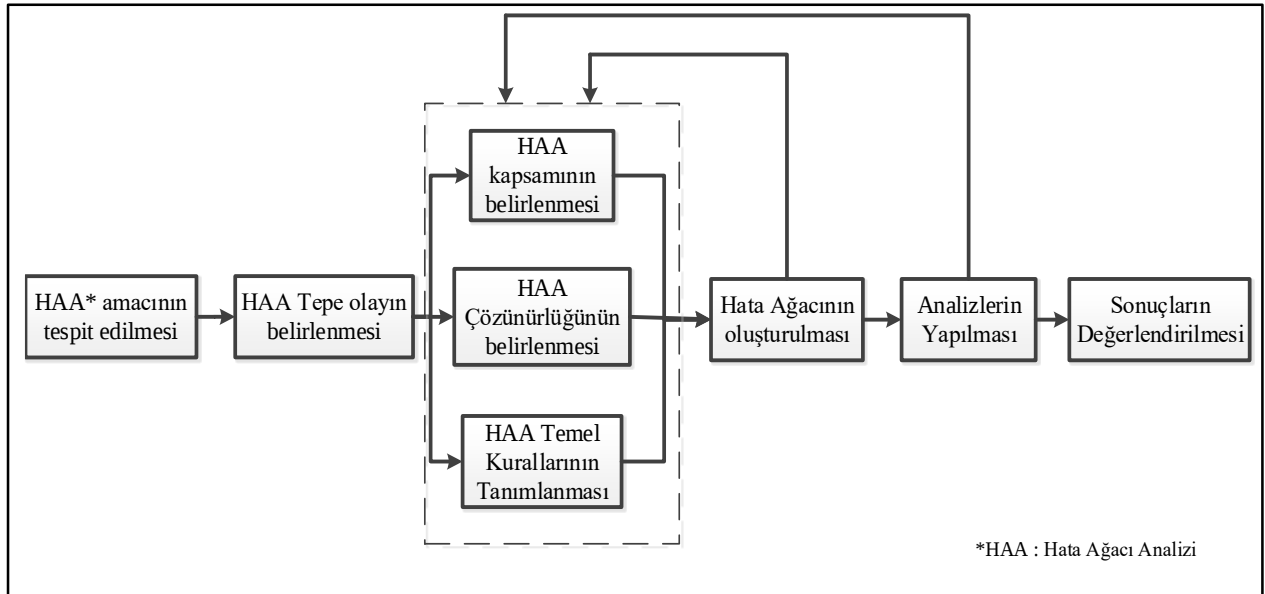
Grafik 3.4. Kaza Geçiren Çalışanların Yaşa Göre Dağılımı

3.3. HATA AĞACI ANALİZİ

Hata Ağacı Analizi (Fault Tree Analysis (FTA)) ilk olarak 1961 yılında ABD’de Bell Telefon Laboratuvarları adlı kuruluştaki çalışan H. Watson tarafından geliştirilmiştir. Ardından 1963 yılında Boeing firmasında çalışan D. Haasl tarafından önemli bir sistem güvenliği analiz aracı olarak kullanılmaya başlanmıştır. Daha sonra Hata Ağacı Analizi metodu havacılık endüstrisinde özellikle uçaklar ve silahlar üzerinde kullanılmaya başlanmıştır. Havacılık endüstrisinden sonra, nükleer enerji endüstrisi de bu metodu kullanmaya başlamış ve hata ağacı analizi metodunun geliştirilmesindeki en fazla katkısı bu endüstri sağlamıştır. 1980’lerden itibaren ise hata ağacı analizi metodu kimya, otomobil, raylı taşıma, robotik ve yazılım endüstrileri tarafından kullanılmaktadır. 1990’lardan bu yana ise hata ağacı analizi metodu hemen her endüstride ve başlıca güvenlik sektöründe kaza araştırmaları için kullanılmaktadır [7].

Hata ağacı analizi tümdengelimli bir risk değerlendirmesi metodudur. Tümdengelimli analizlerde sisteme genelden özele bir yaklaşım mevcuttur, yani sistemde bir hata veya bir kaza

oluşturmuştur ve analiz sonucunda bu hataya neden olan bileşenlerin tespit edilmesi amaçlanmaktadır. Kaza araştırmaları tündengelim analizleridir ve hata ağacı analizi de genel olarak kaza araştırmalarında kazaların temel nedenlerinin bulunması amacıyla uygulanır. Diğer bir deyişle, hata ağacı analizi metodu, bir sistemin başarısız bir durumdaki hali için, bu istenmeyen duruma neden olan temel hataların sistematik bir yolla tespit edilmesi olarak tanımlanabilir [6]. Ericson (1999) hata ağacı analizini “*fiziksel bir sistemin başarısızlık davranışının görsel bir diyagrama ve mantık modeline çevrilmesi*” şeklinde tanımlamıştır. Burada bahsedilen diyagram istenmeyen tepe olaya neden olan etmenlerin bulunmasıyla oluşturulan hata ağacıdır. Ağacın oluşturulmasıyla nedenler arasındaki ilişkilerin görülmesi ve kök nedenlerin bu şekilde tespit edilmesi daha kolaydır [7]. Hata ağacı analizi Şekil 3.2.’de belirtildiği üzere başlıca sekiz adımdan oluşmaktadır. Bunlar ilk olarak analizin amacının tespit edilmesi ve buna göre tepe olayın belirlenmesidir. İlk beş adım problemin tanımlanması, kalan adımlar ise hata ağacının oluşturulması, analizlerin yapılması ve sonuçların değerlendirilmesi adımlarıdır. Bütün adımlar bir sıra ile yapılırken, üçüncü-beşinci adımlar eşzamanlı uygulanır [53].



Şekil 3.2. Hata Ağacı Analizi Akış Şeması [53]

Hata ağacı analizi hem nitel hem de nicel bir risk değerlendirme metodudur. Analiz ilk başta nitel olarak uygulanır. Tepe olayın belirlenmesi ve buna neden olan olay ve durumların belirlenerek sonucunda kök nedenlerin bulunması nitel analizdir. Nicel analiz ise olasılık teorisini ve Boolean cebirini temel alır [7]. Hata ağacı Boolean ilişkilerinin nitel bir temsili

şeklinde değerlendirilebilir. Diğer bir değişle hata ağacı Boolean denklemlerinin tamamen eşdeğer seti olarak yorumlanabilir, yani hata ağacının nitel ve nicel karakteristikleri Boolean denklemlerinden elde edilebilir [53]. Boolean denklemlerine göre Veya-Kapısı “+” sembolüne Ve-Kapısı ise “*” sembolüne tekabül eder. En fazla kullanılan Boolean denklemleri Tablo 3.3.’de verilmektedir [54].

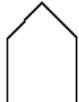
Tablo 3.3. – En Çok Kullanılan Boolean Denklemleri

Boolean Kuralları	Denklemler
Değişme Kuralı	$X + Y = Y + X$
Birleşme Kuralı	$X + (Y + Z) = (X + Y) + Z$
Dağılma Kuralı	$XY + XZ = X(Y + Z)$
Yutma Kuralı	$X + XY = X$

Hata ağacı oluşturulurken ilk olarak istenmeyen olay belirlenir ve bu ağacın tepe olayı olur. Tepe olay belirlenirken mevcut durum iyi bir şekilde anlaşılmalı ve analiz edilmelidir çünkü analizin başarısı ilk olarak buna bağlıdır. Tepe olay belirlendikten sonra bu olaya neden olan alt olaylar belirlenir ve bunlara ‘birincil olaylar’ denir. Birincil olaylar analiz kapsamında çeşitli şekillerde gösterilmektedir. Çalışmada oluşturulan hata ağacında kullanılan olaylar ve açıklamaları Tablo 3.4.’de verilmektedir.

Tepe olay ve diğer olaylar arasındaki bağlantılar ise kapılar aracılığı ile sağlanmaktadır. Kapılar girdi ve çıktı olaylar arasındaki ilişkileri gösterir. Hata ağacı analizinde temel olarak iki kapı bulunmaktadır; Ve-Kapısı ve Veya-Kapısı. Diğer kapılar temel olarak bu iki kapının geliştirilmesi ile oluşturulmuştur. Ve-Kapısı ile bağlı olayların hepsinin başarısız olması durumunda çıktı olay, yani hata ağacında bir üst seviyedeki olay oluşur ve Boolean cebirine göre “+” ile temsil edilir, bu kapının bağladığı olayların olasılıkları toplanır. Veya-Kapısı ise bağladığı çıktı olayların en az birinin meydana gelmesi durumunda çıktı olayın oluşması şeklinde tanımlanır ve Boolean cebirine göre “•” ile temsil edilir ve çıktı olayların olasılıkları çarpılarak olasılığı bulunur. Bu kapıların sembolleri ve tanımları Tablo 3.4.’de verilmektedir.

Tablo 3.4. Hata Ağacı Analizinde Kullanılan Olaylar ve Kapılar

Olaylar	Açıklama
 Temel Olay	Temel olay daire şeklinde gösterilir ve daha fazla ilerleme veya geliştirme gerektirmeyen olay anlamına gelmektedir.
 Gelişmemiş Olay	Karo şeklinde gösterilen gelişmemiş olay tamamlanmamış olay anlamına gelmektedir. Yeterli veri olmadığı için veya başka bir sebeple olayın geliştirilemediği anlamına gelmektedir.
 Orta Olay	Dikdörtgenle gösterilen orta olay, mantık kapıları arasında bir veya daha fazla öncül olayı bağlar.
 Ev-Olayi	Ev olayı meydana gelir veya meydana gelmez veya var-yok şeklinde kesin olarak belirlenebilecek bir olay tipidir, bu nedenle olasılığı 1 veya 0'dır.
 VE Kapisi	Çıktı olayın oluşabilmesi için Ve-Kapısıyla bağlanan bütün olayların oluşması gerekir.
 VEYA Kapisi	Çıktı olayların en az bir tanesinin oluşması girdi olayın oluşmasına neden olur.
 Kombinasyon	Kombinasyon kapısıyla bağlanan n olaydan k tanesi (n/k) gerçekleşirse girdi olay oluşur.
 Transfer Kapisi (Subdiagram)	Bu işaret hata ağacının devam ettiğini ve başka bir sayfada gösterildiğini belirtmektedir.

4. BULGULAR

Çalışmanın bu kısmında Hata Ağacı Analizi uygulaması anlatılmaktadır. Bu kapsamda göçük ve taş-kavlak düşmeleri nedeniyle meydana gelen kazaların tespit edilen ana, ara ve kök nedenleri, bu nedenlerin hata ağacındaki yeri ve diğer nedenlerle olan bağlantıları belirtilmektedir. Her bir ana nedenin alt nedenlerinin bulunduğu hata ağaçları gösterilmekte ve bunların kök nedenleri olan temel olayların bulunan dağılımları gösterilmektedir. Son olarak tespit edilen bu dağılımlar üzerinden uygulanan nicel hata ağacı analizi sonucunda, göçük ve taş-kavlak düşmesi nedeniyle meydana gelen kazaların ortalama kaç günde bir oluşmasının beklendiği ve hangi olayların bu kazaların oluşumunda daha etkili olduğu gibi bulgular yer almaktadır.

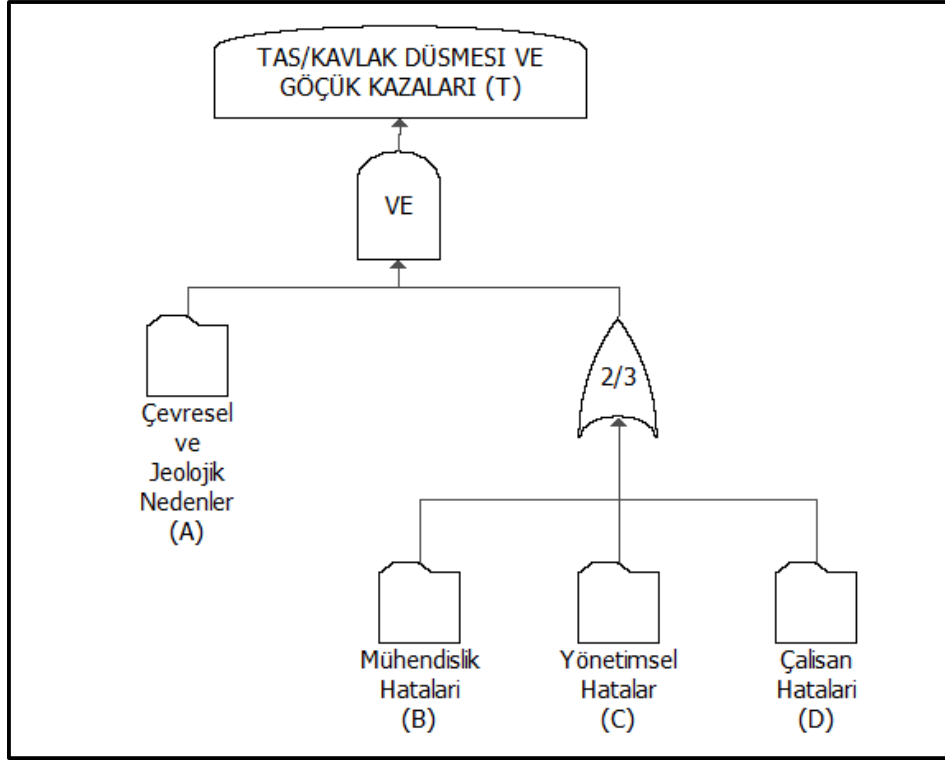
4.1 HATA AĞACI ANALİZİ (HAA) UYGULAMASI

Bu çalışmada seçilen bir yeraltı taşkömürü işletmesinde 2000-2014 yılları arasında gerçekleşen göçük ve taş/kavlak düşmesinden kaynaklanan kazaların ana nedenleri ve bu ana nedenleri meydana getiren kök-nedenler Hata Ağacı Analizi (HAA) yöntemi kullanılarak tespit edilmiştir. Kaza verilerine, saha ziyaretlerine, mühendis ve çalışanlarla gerçekleştirilen görüşmelere dayanarak yapılan bu analizde ağır yaralanma ve ölümle sonuçlanan 335 kaza incelenmiştir. Bu bilgiler ışığında HAA'nın ilk adımı olarak tepe olay 'Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi Kazaları' olarak belirlenmiştir.

Tepe olayın belirlenmesinin ardından bu kazaların oluşmasını etkileyen dört ana neden tespit edilmiştir. Bu nedenler;

- 'Çevresel ve Jeolojik Nedenler',
- 'Mühendislik Hataları',
- 'Yönetimsel Hatalar'
- 'Çalışan Hataları'

olarak belirlenmiş olup, oluşturulan hata ağacı Şekil 4.1.'de verilmiştir.



Şekil 4.1. Ana Nedenleri Gösteren Hata Ağacı

Hata ağacı oluşturulurken ilk olarak ‘Çevresel ve Jeolojik Nedenler’ ile diğer üç neden Ve-kapısı ile bağlanmıştır. Bunun nedeni göçük veya taş-kavlak düşmesinin oluşabilmesi için olması gereken ilk koşulun çevre ve jeoloji kaynaklı sebeplerin oluşturmasıdır. Diğer üç neden olan ‘Mühendislik Hataları’, ‘Yönetimsel Hatalar’ ve ‘Çalışan Hataları’ ise Kombinasyon-kapısı ile 2/3 oranında bağlanmıştır. Bunun nedeni, bu kazaların oluşabilmesi için Çevresel ve Jeolojik Nedenlerle birlikte, bu üç nedenden en az ikisinin meydana gelmesi gerektiğidir. Bu dört ana neden Şekil 4.1’de gösterilen hata ağacında Transfer-kapısı ile gösterilmiş olup, bunun anlamı bu ana olayların her birinin detaylı bir şekilde hata ağacının devamında anlatılacak olmasıdır.

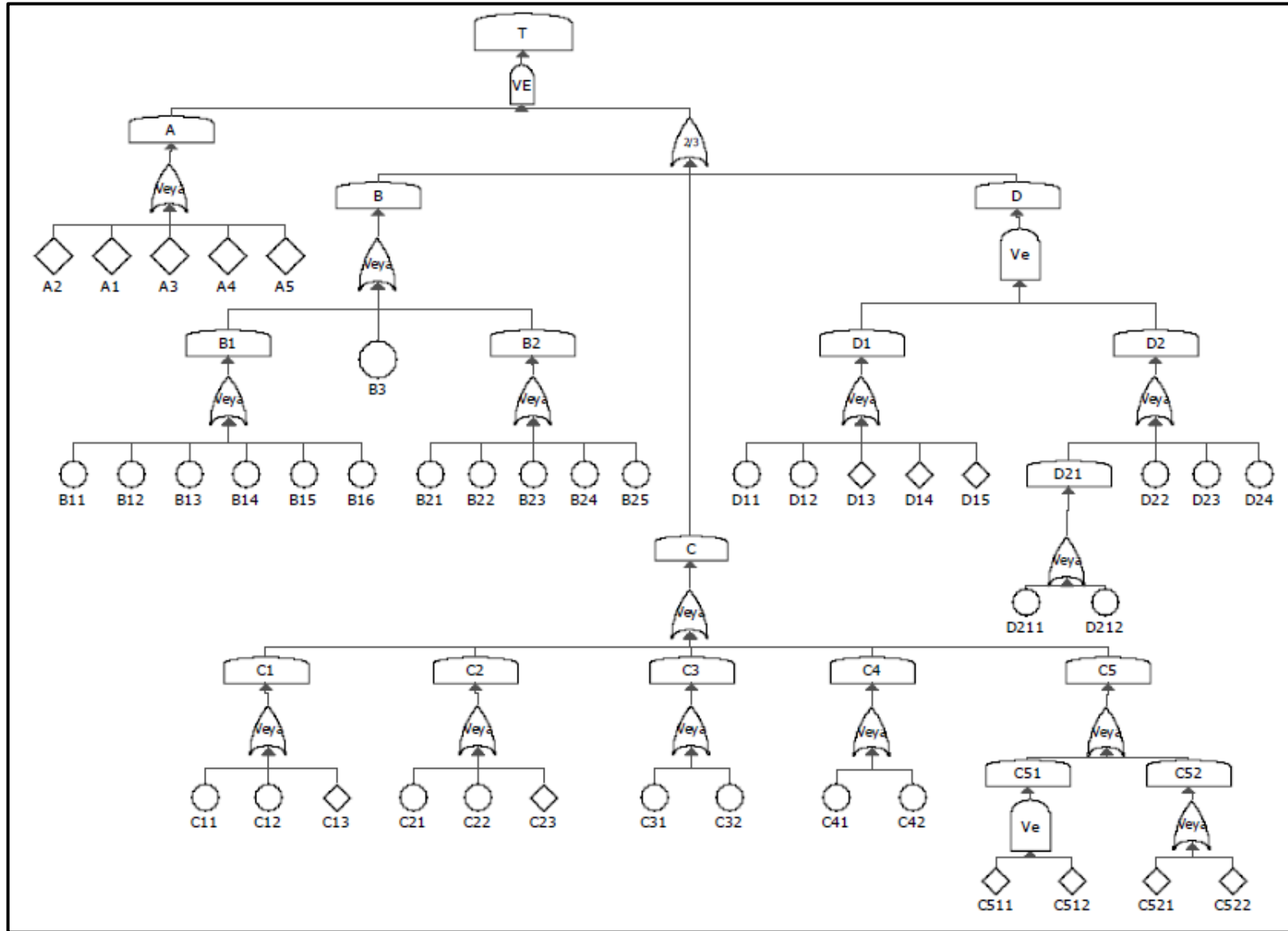
Hata Ağacı Analizi sonucunda 4 ana olay, 12 ara olay ve 41 kök-neden tespit edilmiş olup, bu nedenlerin 27 tanesi temel olay ve 14 tanesi gelişmemiş olay olarak tanımlanmıştır. Ana, ara, temel ve gelişmemiş olayların her biri Tablo 4.1.’de belirtilmekte olup, Şekil 4.2.’de göçük ve taş-kavlak düşmesinden kaynaklanan kazaların hata ağacı gösterilmektedir. Bu hata ağacında bütün ana, ve ara olaylarla kök-nedenler gösterilmekte olup, her olay kendilerine atanan numaralarla temsil edilmektedir. Gereç ve Yöntemler kısmında anlatıldığı şekilde, hata ağacında gösterilen gelişmemiş olaylar baklava dilimi, temel olaylar ise daire şeklindedir.

Tablo 4.1. Hata Ağacı Analizinde Yer Alan Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi Nedenleri

Tespit Edilen Olaylar
A. Çevresel ve Jeolojik Nedenler
A1. Yeraltı suları
A2. Yüksek nem
A3. Yatay ve dikey basınçlar
A4. Kaya patlaması
A5. Jeolojik süreksizlikler
B. Mühendislik Hataları
B1. Tasarım hatası
B11. Uygun tahkimat malzemesinin seçilmemesi
B12. Tahkimat çevresindeki boşlukların doldurulmaması
B13. Yetersiz kama kullanılması
B14. Domuzdamından kaynaklanan hatalar
B15. Tahkimatın hasar görmesi veya sağlam olmaması
B16. Tahkimat yetersizliği veya eksikliği
B2. Kömür Kazısı Hataları
B21. Ayak yüksekliğinin fazla olması
B22. Ayak arkasının hatalı kesilmesi
B23. Tavandaki çatlak veya kesiklere dikkat edilmeden ilerlenmesi
B24. Tavanda kömür yükselmesi durumunda önlem almama
B25. Tahkimatı tamamlanmayan arında kazı yapılması
B3. Hatalı patlatma
C. Yönetimsel Hatalar
C1. Denetim hatası
C11. Tahkimat denetimlerinin yetersiz olması
C12. Kavlak kontrollerinin yetersiz olması
C13. Yasak bölgelere girilmemesi için yeterli önlem alınmaması
C2. Hatalı veya yetersiz ekipman
C21. Yetersiz veya uygunsuz KKD temini
C22. Kullanılan el aletlerinin uygun olmaması
C23. Yeterli tahkimat malzemesinin sağlanmaması

Tablo 4.1. Hata Ağacı Analizinde Yer Alan Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi Nedenleri (devam)

Tespit Edilen Olaylar
C3. Planlama Hatası
C31. Risk değerlendirmesinin yetersiz olması
C32. Tecrübesiz çalışanların tehlikeli görevlerde çalıştırılması
C4. Yetersiz eğitim
C41. Pratik eğitimlerin yetersiz olması
C42. İş güvenliği eğitiminin yetersiz olması
C5. Çalışma koşullarının uygun olmaması
C51. Çevresel koşulların uygun olmaması
C511 Havalandırmanın yetersiz oluşu
C512 Termal konforun uygun olmaması
C52. Sosyal koşulların uygun olmaması
C521 Yetersiz Ücret
C522 Uzun Çalışma Saatleri
D. Çalışan Hataları
D1. Güvensiz durum
D11. Kaza yatkınlığı
D12. Tecrübesizlik
D13. Fiziksel özelliklerinin yeraltında çalışmaya uygun olmaması
D14. Konsantrasyon ve motivasyon eksikliği
D15. Ergonomik duruş bozuklukları
D2. Güvensiz davranış
D21. Hatalı veya tehlikeli bir durumu fark edip önlem almama
D211 Tas/Kavlak Düşme İhtimalini Fark Edip Önlem Almama
D212 Tahkimatla ilgili görülen noksanlıkların giderilmemesi
D22. Görevin yanlış veya eksik uygulanması
D23. Ekipmanların yanlış kullanılması
D24. Acelecilik



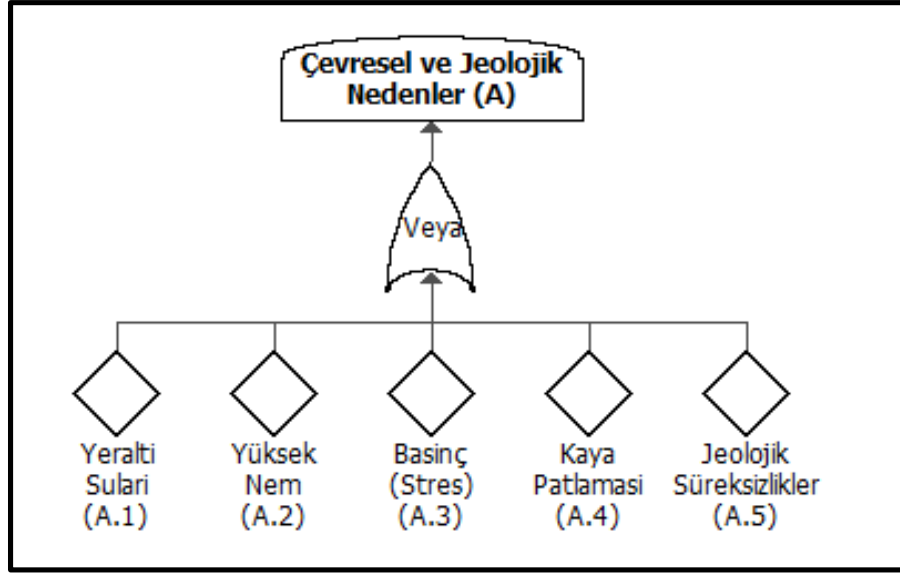
Şekil 4.2. Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesinden Kaynaklanan Kazaların Hata Ağacı

Bu bölümde bütün ana, ara, temel ve gelişmemiş olaylar ve anlatılarak, Şekil 4.1.'de Transfer-kapısı ile gösterilen olayların açık hata ağaçları yer almaktadır. Bu kök-nedenlerin gerekçeleri tezin Genel Bilgiler bölümünde 'Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesinden Kaynaklanan Kazaları Tetikleyen Nedenler' başlığı altında anlatılmıştır. Bu bölümün Nicel Analiz kısmında yer alan Tablo 4.4.'de ise bütün temel olaylar yer almaktadır. Belirlenen temel olayların her birinin, ağır yaralanma veya ölümle sonuçlanan 335 göçük ve taş-kavlak düşmesi kazasının kaçında etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bir kazanın birden fazla nedenin birleşmesiyle oluştuğu göz önünde bulundurularak, her bir olay her kaza için değerlendirilmiştir. Bununla birlikte, her bir temel olayın etki ettikleri kazaların arasında geçen gün farklarına (MTBF) bakılarak Weibull-7 programı ile olasılık dağılımları tespit edilmiştir. Temel olayların kazalara etki etme yüzdeleri ve olasılık dağılımları da Tablo 4.4'te yer almaktadır.

4.1.1. Çevresel ve Jeolojik Nedenler (A)

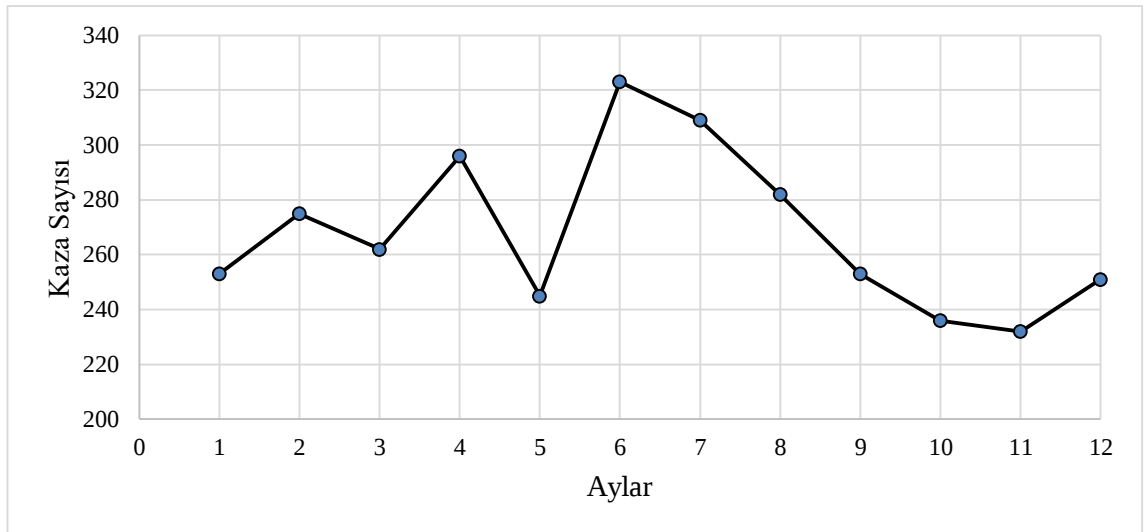
Göçük ve taş-kavlak düşmesi kazaları öncelikle çevresel ve jeolojik nedenlerin oluşması sonucunda meydana gelir. Bu nedenle hata ağacındaki ilk neden 'Çevresel ve Jeolojik Nedenler' olarak saptanmıştır. Bu çalışma kapsamında çalışma sahasında taş ve kavlak düşmesine neden olabilecek çevresel ve jeolojik nedenler beş kök neden altında sınıflandırılmıştır. Bunlar Şekil 4.3.'te oluşturulan hata ağacında da gösterildiği gibi yüksek nem, tavan basıncı ve yanal basınçlar, yeraltı suları, derinlik ve jeolojik süreksizliklerden oluşmaktadır. Kaza verilerinde jeolojik ve çevresel verilerle ilgili bir kayıt bulunmaması nedeniyle, çevresel ve jeolojik nedenler başlığı altında her kök-neden nitel olarak değerlendirilmiş olup, bu başlık altındaki hata ağacı muhtemel oluşabilecek senaryolar şeklinde dallandırılmıştır.

A1. Yeraltı suları: Yeraltı suları tezin Genel Bilgiler kısmında belirtildiği gibi yeraltında basınca ve ardından taş-kavlak düşmesi ve göçük olaylarına neden olmaktadır. Bu nedenle jeolojik ve çevresel nedenlerin alt nedeni olarak tespit edilmiştir. Yaşanan kaza verilerine bakıldığında yeraltı sularının durumuyla ilgili yeterli veri bulunamaması nedeniyle hata ağacında gelişmemiş olay olarak yer almıştır.



Şekil 4.3. Çevresel ve Jeolojik Nedenler Hata Ağacı

A2. Yüksek nem: Genel Bilgiler kısmında yüksek nemin göçük ve taş-kavlak düşmelerini tetikleyici bir neden olduğundan bahsedilmiştir. Yapılan incelemeler sonucunda yaz aylarında göçük ve taş-kavlak düşmelerinden meydana gelen kazaların artış gösterdiği belirlenmiştir. Seçilen işletmede 2000-2014 yılları arasında meydana gelen taş-kavlak düşmesi kazalarının aylara göre dağılımı Grafik 4.1.'de verilmiştir. Bu grafikte aynı şekilde taş-kavlak düşmelerinin yaz aylarında artış gösterdiği görülmektedir. Bunun nedenlerinden birinin de yüksek nem olduğu belirlenmiş olup, hata ağacında jeolojik ve çevresel nedenler altında gelişmemiş olay olarak yer almaktadır.



Grafik 4.1. Aylara Göre Göçük ve Taş/Kavlak Düşmesi Kaza Sayıları

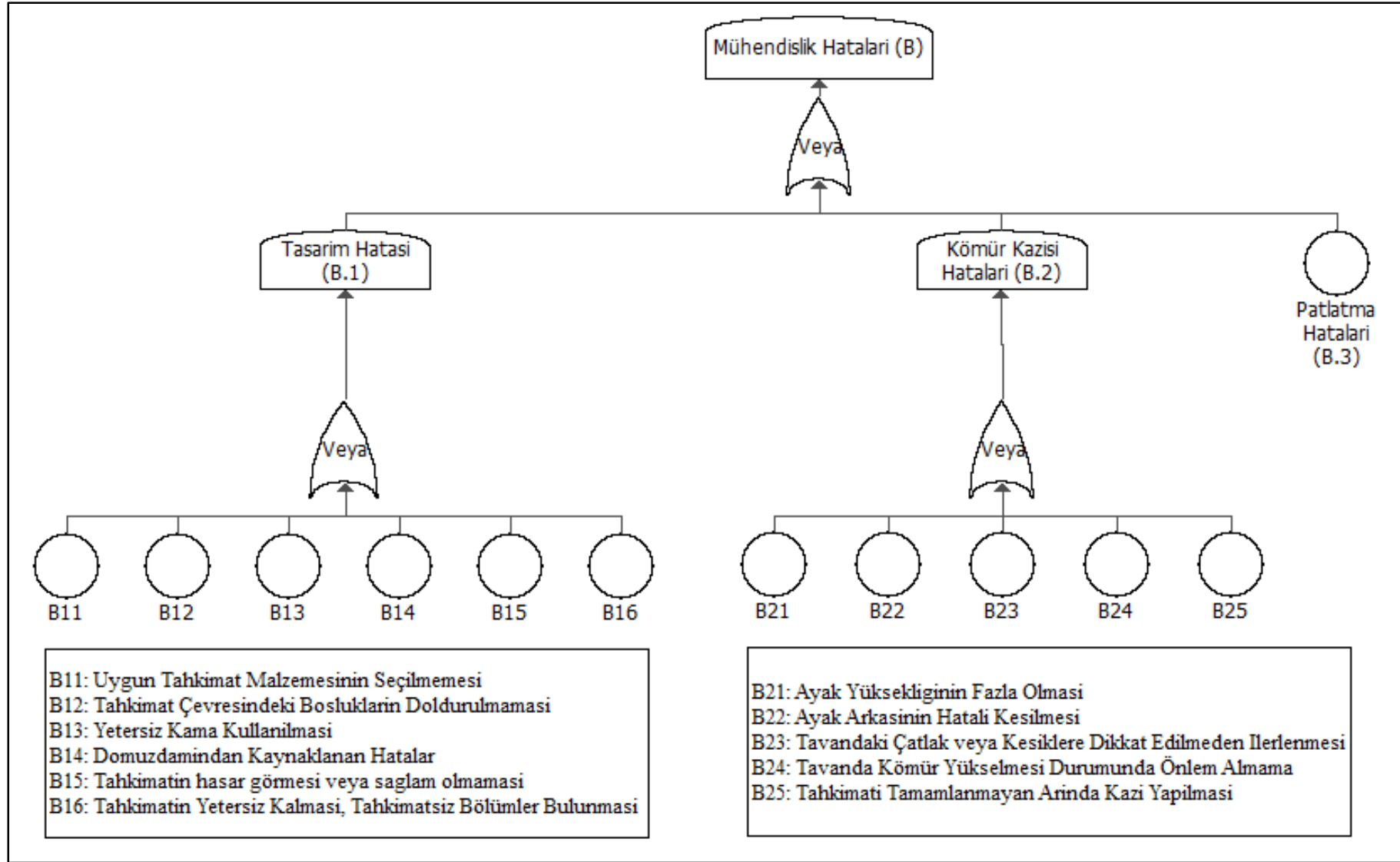
A3. Yatay ve dikey basınçlar: Tezin Genel Bilgiler kısmında da belirtildiği gibi, basınç göçük ve taş-kavlak düşmelerini tetikleyen en önemli nedenlerden biridir. Bu yüzden yeraltında göçük ve taş-kavlak oluşumuna neden olan bir diğer çevresel ve jeolojik neden yüksek tavan basıncı ve yanal basınçlar olarak hata ağacı analizinde gelişmemiş olay olarak yer almıştır.

A4. Kaya patlaması: Bu çalışma kapsamında kaya patlamaları gelişmemiş olay olarak nitel hata ağacı analizinde incelenmiştir. Kaza kayıtlarına bakıldığında yaşanan kazalarda kaya patlaması şeklinde bir açıklama bulunmadığı ancak ‘tavandan ve yanlardan taş gelmesi’ gibi tabirler olduğu görülmüştür. Bu nedenle bu durumun da göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının kök nedenlerinden biri olduğu yapılan araştırmalara göre tespit edilerek hata ağacında gelişmemiş olay olarak yer almıştır.

A5. Jeolojik süreksizlikler: Taş-kavlak düşmesi ve göçük oluşumunda da süreksizliklerin önemli bir payı vardır. Jeolojik süreksizlikler bu çalışmada faylar başta olmak üzere çatlaklar, kayma düzlemi, tabakalanma düzlemi ve diğer süreksizlikleri ifade etmektedir. Çalışmanın yapılmış olduğu yeraltı taşkömürü işletme sahasının jeolojik yapısının oldukça bozuk olduğu ve çok sayıda tektonik hareketin etkisi altında kaldığı, kömür damarlarının çok sayıda ana ve tali faylarla kesildiği Genel Bilgiler ve Gereç ve Yöntemler kısımlarında belirtilmiştir. Jeolojik süreksizliklerin bu kadar fazla bulunduğu bir bölgede kazı işleminin daha zor yapılması ve bununla birlikte de taş ve kavlak düşmelerinin sayısının da yüksek olması beklenmektedir. Bu nedenle, bu çalışma kapsamında jeolojik süreksizlikler nitel olarak yer almakta olup, kaza verilerinde bu süreksizliklerle ilgili bilgi bulunmaması nedeniyle gelişmemiş olay olarak yer almıştır.

4.1.2. Mühendislik Hataları (B)

Hata ağacı analizinde kavlak düşmesi ve göçüklerden meydana gelen kazaların ana nedenlerinden bir tanesi de ‘Mühendislik Hataları’dır. Başta da belirtildiği gibi mühendislik hataları, yönetim ve çalışan hatalarından en az bir tanesiyle beraber meydana gelmesi durumlarında kazalara neden olması nedeniyle Kombinasyon-kapısı ile (2/3) tepe olaya bağlanmıştır. Bu çalışma kapsamında mühendislik hatalarını oluşturan alt nedenler ise ‘Tasarım Hatası’, ‘Hatalı Patlatma’ ve ‘Kömür Kazısı Hataları’ olarak tespit edilmiş ve mühendislik hataları olayına Şekil 4.4.’te görüldüğü gibi Veya-kapısı ile bağlanmıştır.



Şekil 4.4. Mühendislik Hataları Hata Ağacı

B1. Tasarım hatası: Çalışma kapsamında 2000-2014 yılları arasında meydana gelen kavlak düşmesi ve göçük kazaları incelendiğinde hata ağacı analizinde tasarım hatasının Şekil 4.4.'te görüldüğü gibi altı adet kök nedeni bulunmuştur. Bu nedenler hata ağacında Veya-kapısı ile bağlanmış olup, her biri ile ilgili açıklamalar aşağıda kısaca verilmektedir.

B11. Uygun tahkimat malzemesinin seçilmemesi: İşletmede ağaç ve demir tahkimatlar ve domuzdamları kullanılmaktadır. Bununla birlikte çalışma alanında tavan saptaması, beton püskürtme veya çelik hasır gibi ilave tahkimatlar bulunmamaktadır. Bu nedenin kaç kazada etkisi olduğuna bakıldığında, kazaların %54'ünde uygun tahkimat malzemesinin seçilmemesinin etkisinin olduğu görülmüştür.

Weibull-7 programı ile kazalar arasındaki gün farkları hesaplanarak bulunan dağılımda ise bu olayın Üstel Dağılım özelliği gösterdiği tespit edilmiştir. Bu dağılımın katsayıları;

B11: Üstel dağılım, $\lambda = 3,57 \cdot 10^{-2}$, $\gamma = 1$, olarak tespit edilmiştir.

B12.Tahkimat çevresindeki boşlukların doldurulmaması: Çalışma kapsamında kazaların %14,33'ünde tahkimatın çevresinin sıkıştırılmamasının etkisi olduğu belirlenmiştir. Weibull-7 programı kullanılarak bu kök nedenin Weibull-3 Parametre dağılımı gösterdiği tespit edilmiş olup katsayıları;

B12: Weibull-3 Parametre, $\beta = 0,988$, $\eta = 117,59$, $\gamma = 1,59$, olarak tespit edilmiştir.

B13. Yetersiz kama kullanılması: Analiz sonucunda göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının %60 gibi büyük bir kısmında yetersiz kama kullanımının etkisi olduğu görülmüştür. Olasılık dağılımı ise Weibull-3 Parametrelili dağılım olarak belirlenmiştir. Bu dağılımın katsayıları;

B13: Weibull-3 Parametre, $\beta = 1$, $\eta = 25,52$, $\gamma = 0,66$ olarak tespit edilmiştir.

B14. Domuzdamından kaynaklanan hatalar: Domuzdamlarından kaynaklanan hatalar genel olarak tavan yükünü tam olarak taşıyacak şekilde kurulmaması, kurulum esnasında çevredeki tahkimatlara, taban ve tavana dikkat edilmemesi gibi hususlardır. Çalışma kapsamından domuzdamı kaynaklı taş-kavlak düşmesi kazalarının genel olarak domuzdamı söküm işleri esnasında arka düşmesi veya göçükten taş-kavlak gelmesi nedeniyle oluştuğu görülmüştür. 15 yıllık süre içerisinde bu nedenden kaynaklanan kazaların diğer kazalara göre %0,05'lik bir oranla oldukça az olduğu tespit edilmiştir.

Bu olayın olasılık dağılımı ise Weibull-2 Parametre dağılımı olarak belirlenmiş olup katsayıları;

B14: Weibull-2 Parametre, $\beta = 1,04$, $\eta = 284,01$ olarak tespit edilmiştir.

B15. Tahkimatın hasar görmesi veya sağlam olmaması: Kaza verilerine bakıldığında kazaların %27,5'inde tahkimatın hasar görmesinin etkisinin olduğu tespit edilmiştir. Bu olayın olasılık dağılımı ise Weibull-3 Parametre dağılımı olarak belirlenmiş olup katsayıları;

B15: Weibull-3 Parametre, $\beta = 1,22$, $\eta = 65,33$, $\gamma = -1,595$ olarak tespit edilmiştir.

B16. Tahkimat yetersizliği veya eksikliği: Çalışma alanında yaşanan bazı kazalar ise tahkimat olmasına rağmen yeterli korumayı sağlayamamasından dolayı veya olması gereken yerlerde gerekli tahkimatların bulunmaması nedeniyle taş ve kavlak düşmeleri sebebiyle kazalar yaşanması sonucu yaralanmalardır. Bu durumun bir nedeni de arın kapaklarının sağlam olmamasıdır. Arın kapaklarının sağlam olmaması kazı veya pasa temizliği gibi işlemler esnasından çalışanlar üzerine arından posta gelmesine ve arın kaymasına neden olmaktadır. Kaza verileri bu bağlamda incelendiğinde özellikle arın kapağı eksikliği nedeniyle arın kaymalarının önlenememesi veya tahkimatların temas etmemesi gibi sebeplerle olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonucunda kazaların %59,7'lik kısmında bu kök-nedenin etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu olayın olasılık dağılımı ise Weibull-3 Parametre dağılımı olarak belirlenmiş olup katsayıları;

B16: Weibull-3 Parametre, $\beta = 1,03$, $\eta = 26,58$, $\gamma = 0,565$ olarak tespit edilmiştir.

B2. Kömür kazısı hataları: Tahkimat hataları gibi, kömür kazısı esnasında da dikkat edilmediği ve yeterli önlemler alınmadığı takdirde yaralanma veya ölümle sonuçlanabilecek hatalar bulunmaktadır. Çalışma sahasında 2000-2014 yılları arasında taş-kavlak düşmesi ve göçükler nedeniyle meydana gelen kazalar incelendiğinde kömür kazısı esnasında yapılan bazı hataların bu yaralanma ve ölümlerin nedenlerinden bir tanesi olduğu görülmektedir. Daha önce de belirtildiği gibi çalışma alanında kazı işlemi delme-patlatma yöntemiyle ve ardından konvansiyonel metotla çalışanlar tarafından yapılmaktadır. Konvansiyonel kazı işlemi esnasında dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Örneğin tahkimatı tamamlanmayan ayaklarda kazı yapılmaması, ayak yüksekliğinin fazla olduğu durumlarda iskeleyle çalışılması, arkalar tavan seviyesine gelmeden arkadan kömür alınmaması veya kazı yapılırken tavandaki

çatlak ve kesiklere dikkat edilmesi, kömürdeki kazının damardaki çatlaklara göre yürütülmesi ve tavan taşının oturma periyodu takip edilerek çalışmaların sürdürülmesi gibi hususlara dikkat edilmesi gerekmektedir. Bütün bunlar göz önünde bulundurularak Şekil 4.4.'te görüldüğü gibi hata ağacı analizi kapsamında kömür kazası hatalarının alt nedenleri olarak beş adet kök neden bulunmuştur. Bu nedenler aşağıda kısaca anlatılmaktadır.

B21. Ayak yüksekliğinin fazla olması: Ayak yüksekliğinin fazla olması durumunda taş-kavlak düşmesi sayıları artmakta ve bunun sonucunda kazalar oluşmaktadır. Bu doğrultuda, çalışma kapsamındaki kazaların %40,60'ında bu kök nedenin etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu kök nedenin olasılık dağılımı Weibull-3 Parametre dağılımı olarak belirlenmiş olup katsayıları;

B21: Weibull-3 Parametre, $\beta = 1,00$, $\eta = 36,95$, $\gamma = 0,592$ olarak tespit edilmiştir.

B22. Ayak arkasının hatalı kesilmesi: Çalışma kapsamında incelenen kazaların yalnızca %4,18'inde bu kök nedenin etkisi olduğu tespit edilmiştir. Analiz sonucunda bu kök-nedenin olasılık dağılımı Weibull-3 Parametre olarak belirlenmiş olup katsayıları;

B22: Weibull-3 Parametre, $\beta = 0,559$, $\eta = 245,73$, $\gamma = 40,53$ olarak tespit edilmiştir.

B23: Tavandaki çatlak veya kesiklere dikkat edilmeden ilerlenmesi: Kazaların %21,79'unda bu kök-nedenin etkisi olduğu tespit edilmiştir. Olasılık dağılımı ise Lognormal dağılım olarak bulunmuş ve katsayıları ise;

B23: Lognormal, $\mu = 3,668$, $\sigma = 1,160$ olarak tespit edilmiştir.

B24. Tavanda kömür yükselmesi durumunda önlem almama: Çalışma alanında kamalamanın yetersiz olması, tahkimat çevresinin takviye edilmemesi gibi nedenlerle kömür ve taş düşmeleri sonucunda yaralanmalar meydana gelmiştir. Bunun sonucunda bu kök nedenin etkisinin kazaların %53,13'ünde görüldüğü tespit edilmiştir. Olasılık dağılımı ise Weibull-3 Parametrelili dağılım olarak bulunmuş ve katsayıları ise;

B24: Weibull-3 Parametre, $\beta = 1,00$, $\eta = 30,362$, $\gamma = 0,655$ olarak tespit edilmiştir.

B25. Tahkimatı tamamlanmayan arında kazı yapılması: Yeraltında tahkimatı tamamlanmayan kısımlarda kazı yapılması tavanın ve yan duvarların dışarıdan gelen bir kuvvet sonucunda kendini taşıyamayacak duruma gelebilmesi nedeniyle yasaktır. Kaza verileri incelendiğinde eksik tahkimat bulunan yerlerde çalışmalar yapılmış olabileceği ve bazı kazaların bu nedenle oluşmuş olabileceği tespit edilmiştir. Bu doğrultuda yapılan analiz sonucunda kazaların %23,28’inde bu temel olayın etkisinin olduğu görülmüştür. Bu olayın olasılık dağılımı ise Weibull-3 parametrelili dağılım olarak tespit edilmiş olup, katsayıları;

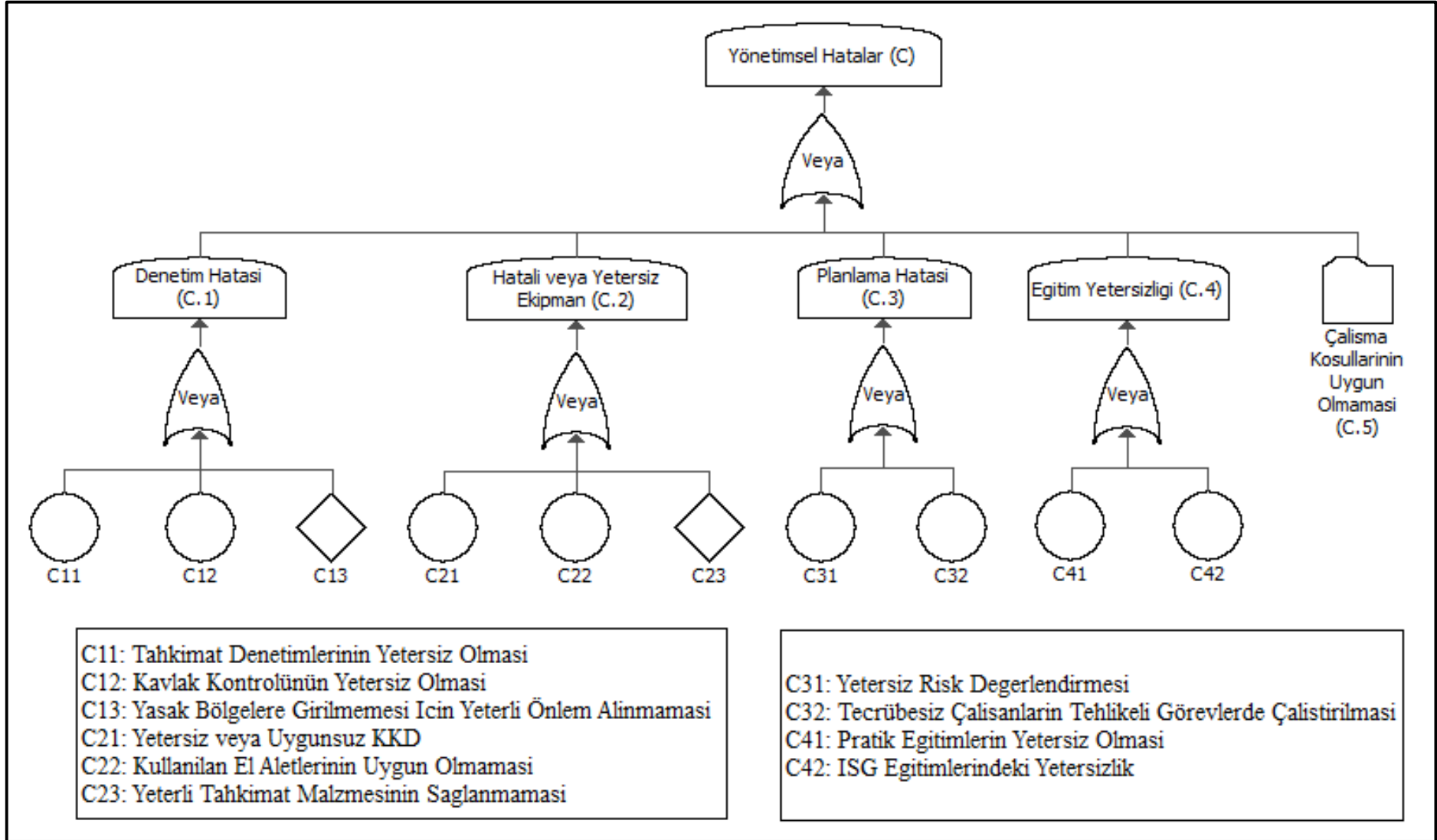
B25: Weibull-3 Parametre, $\beta = 0,823$, $\eta = 63,83$, $\gamma = 1,84$ şeklindedir.

B3. Hatalı patlatma: Çalışma kapsamında taş-kavlak düşmesi ve göçük düşmelerinden kaynaklanan kazaların %4,2’sinde patlatmanın etkisi görülmektedir, ancak ölümle sonuçlanan kazaların üç tanesinde bu kök-nedenin etkisi olduğu görülmüştür. Bu nedenle az rastlanan bir kaza tipi olsa da sonuçlarının sonuç etkileri oldukça büyüktür. Olasılık dağılımına bakıldığında Weibull-3 Parametre dağılım özelliği gösteren bu olayın dağılım katsayıları,

B.3: Weibull-3 Parametre, $\beta = 0,787$, $\eta = 326,89$, $\gamma = 2,19$ olarak tespit edilmiştir.

4.1.3. Yönetimsel Hatalar (C)

Hata ağacı analizinde yönetimsel hatalar beş ana neden altında incelenmiştir. Şekil 4.5.’de yönetimsel hataların hata ağacı verilmektedir. Şekilden de görüldüğü gibi bu beş ara olay Veya-kapısı ile bağlanmış olup, bunlardan en az birinin oluşması, yönetimsel hataların kazalar üzerinde etkisinin olduğu anlamına gelmektedir. Bu ara olaylar altında 14 kök neden bulunmuş olup, her birinin açıklamaları aşağıda yer almaktadır.



Şekil 4.5. Yönetimsel Hatalar Hata Ağacı

C1. Denetim hatası: Yapılan saha ziyaretleri ve kaza verileri incelemeleri sonucunda denetim hataları ‘Tahkimat Denetimlerinin Yetersiz Olması’, ‘Kavlak Kontrolünün Yetersiz Olması’ ve ‘Yasak Bölgelere Girilmemesi İçin Önlem Alınmaması’ başlıkları şeklinde üç kök-neden altında incelenmiştir. Bu kök-nedenler hata ağacında Şekil 4.5.’de görüldüğü gibi Veya-kapısı ile bağlanmıştır. Bu üçü nedenin açıklamaları ve olasılık dağılımlılarına ait bilgiler aşağıda kısaca belirtilmiştir.

C11. Tahkimat denetimlerinin yetersiz olması: Resim 4.1.’de çalışma alanında yapılan saha ziyaretlerinde tespit edilmiş uygun olmayan bir tahkimat örneği verilmektedir. Bu ve bunun gibi pek çok örneğe saha ziyaretlerinde rastlanmıştır. Ayrıca kaza verilerine bakıldığında da kazaların %26,86’sında tahkimat denetimlerinin yetersizliğinin etkisi görülmektedir. Bu kök-nedenin etkisi olduğu kazalar arasındaki zaman farklarına göre dağılımı incelendiğinde Weibull-3 Parametre dağılım özelliği gösterdiği bulunmuş olup dağılım katsayıları,

C11: Weibull-3 Parametre, $\beta = 1,20$, $\eta = 66,50$, $\gamma = -1,52$ olarak tespit edilmiştir.



Resim 4.1. Çalışma Alanından Uygun Olmayan Tahkimat Örneği

C12. Kavlak kontrollerinin yetersiz olması: Çalışma alanında kavlak düşürme işlemi elle yapılmaktadır. Çalışma alanına gerçekleştirilen saha ziyaretlerinde kavlak düşürmenin kullanılmayan martopikörlerin uçlarının sivriltilerek uygulandığı öğrenilmiştir. Analiz sonucunda kavlak kontrollerindeki yetersizliklerin kazaların %23,28’inde etkisi olduğu görülmüştür. Bu kök-nedenin etkisi olduğu kazalar

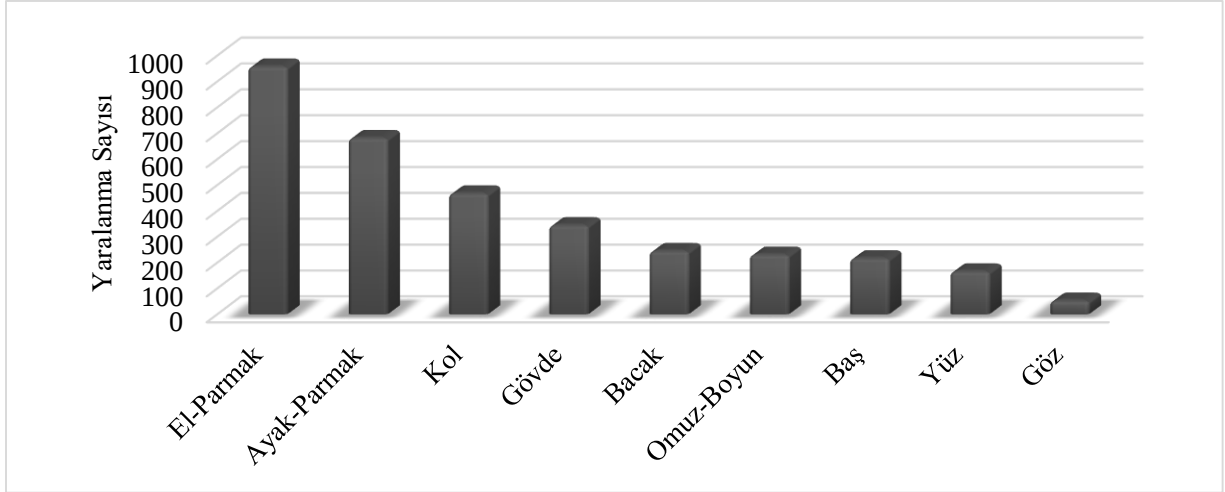
arasındaki zaman farklarına göre dağılımı ise Lognormal dağılım olarak bulunmuş olup katsayıları;

C12: Lognormal, $\mu = 3,668$, $\sigma = 1,132$ olarak tespit edilmiştir.

C2. Hatalı veya yetersiz ekipman: Çalışma kapsamında hatalı veya yetersiz ekipman, yönetimin sağlaması zorunlu olan kişisel koruyucu donanımlar, tahkimat malzemeleri, bakım-onarım ekipmanları, martoperfaratör gibi delik delmede kullanılan ekipmanlar, tahkimat cıvatalarını sıkırtmak veya açmak için kullanılan makineler gibi ekipmanları kapsamaktadır. Hata ağacı analizinde bu neden Şekil 4.5.'de de görüldüğü üzere altında üç kök-neden tespit edilmiş olup Veya-kapısı ile bağlanmıştır. Bu nedenlerin açıklamaları ve olasılık dağılımları bu kısım içinde anlatılmaktadır.

C21. Yetersiz veya uygunsuz kişisel koruyucu donanım (KKD) temini: İşletmede 2000-2014 yılları arasında meydana gelen 3156 göçük ve taş kavlak düşmesi kazası neticesinde uzuv yaralanmaları Grafik 4.2.'de verilmiştir. Bu grafikten anlaşılaçağı üzere göçük ve taş-kavlak düşmeleri neticesinde en fazla el ve ayak parmakları yaralanmıştır. Ancak KKD yetersizliğı açısından incelendiğinde özellikle baş, göz ve ayak yaralanmalarının nedenlerinden biri de kullanılan KKD'lerin yetersiz veya hatalı olması olduğı tespit edilmiştir. Hata ağacında bu neden özellikle baş, göz ve ayak yaralanmaları için analiz edilmiş olup, incelenen kazalarda KKD yetersizliğinin kazaların %31,64'ünde etkisi olduğı bulunmuştur. Yetersiz KKD'lerin etkisi olduğı kazalar arasındaki zaman farklarına göre olasılık dağılımlarına bakıldığında, Weibull-3 Parametrelili dağılım özelliğı gösterdiği görülmüştür ve katsayıları,

B21: Weibull-3 Parametre, $\beta = 1,130$, $\eta = 53,34$, $\gamma = 0,195$ olarak tespit edilmiştir.



Grafik 4.2. Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi Nedeniyle Yaralanan Uzuvlar

C22. Kullanılan el aletlerinin uygun olmaması: Kaza verileri incelendiğinde gerek el aletlerinin uygun olmaması, gerekse kullanım esnasında yapılan hatalar nedeniyle taş ve kavlak düşmesi yaralanmalarının yaşandığı görülmektedir. El aletlerinin kullanımında yapılan hatalar hata ağacının çalışan hataları dalında incelenmiş olup bu kısımda yönetimin sağlamış olduğu el aletlerinin uygunluğu incelenmiş ve bunun neticesinde kazaların %7,76'sında bu durumun etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu kök-nedenin olasılık dağılımı ise Weibull-3 Parametre dağılım özelliği gösterdiği belirlenmiş olup katsayıları;

C22: Weibull-3 Parametre, $\beta = 0,907$, $\eta = 176,11$, $\gamma = 8,65$ olarak tespit edilmiştir.

C3. Planlama hatası: Bu hata olayının alt nedenleri olarak hata ağacı analizinde Şekil 4.5.'de de görüldüğü üzere risk değerlendirmesindeki yetersizlikler ve tecrübesiz çalışanlara tehlikeli görevler verilmesi durumları incelenmiştir. Hata ağacında bu iki kök-neden Veya-kapısı ile bağlanmıştır. Bu ikisinden birinin bir kazada etkisi olması planlama hatasına bağlı bir kaza olması anlamına gelmekte, bu da aynı şekilde bir üst seviyedeki Veya-kapısı nedeniyle yönetimsel hata kaynaklı kaza olduğu anlamına gelmektedir. Bu kök nedenlerin açıklamaları olasılık dağılımlarıyla birlikte aşağıda verilmiştir.

C31. Risk değerlendirmesinin yetersiz olması: Seçilen işletmede risk değerlendirmesi olarak L Tipi 5*5 Matris risk değerlendirmesi metodu kullanılmaktadır. Yapılan incelemeler sonucunda mevcut risk değerlendirmesinin yetersiz olduğu, işletmede var olan bütün tehlike ve riskleri içermediği ve sonuç değerlendirmelerinin beklenenin

altında olduğu görülmüştür. Bunun sonucunda işletmedeki risk değerlendirmesindeki yetersizliklerin kazaların %35,82'sinde etkisi olduğu belirlenmiştir. Bu kök nedenin olasılık dağılımı ise Weibull 3-Parametrelili dağılım olarak bulunmuş olup katsayıları;

C31: Weibull-3 Parametre, $\beta = 1,03$, $\eta = 45,26$, $\gamma = 0,688$ olarak tespit edilmiştir.

C32. Tecrübesiz çalışanların tehlikeli görevlerde çalıştırılması: Analiz kapsamında tecrübesiz çalışanların tehlikeli görevlerde çalıştırılması incelenirken üç yıldan az süreli çalışanların tehlikeli işleri yaparken geçirmiş oldukları kazalar göz önünde bulundurulmuştur. Ağır yaralanma ve ölümle sonuçlanan kazalar arasında üç yıldan az tecrübeli olan çalışanların 103 tanesi ölüm veya ağır yaralı olarak kaza geçirmiş ve bunların 58 tanesinin tecrübelerine göre tehlikeli işlerde çalıştıkları belirlenmiştir. Sonuç olarak hata ağacı analizi sonucunda kazaların %17,31'inde bu kök nedenin etkisi olduğu tespit edilmiştir. Bu kök-nedenin olasılık dağılımı ise Lognormal dağılım olarak bulunmuş olup katsayıları;

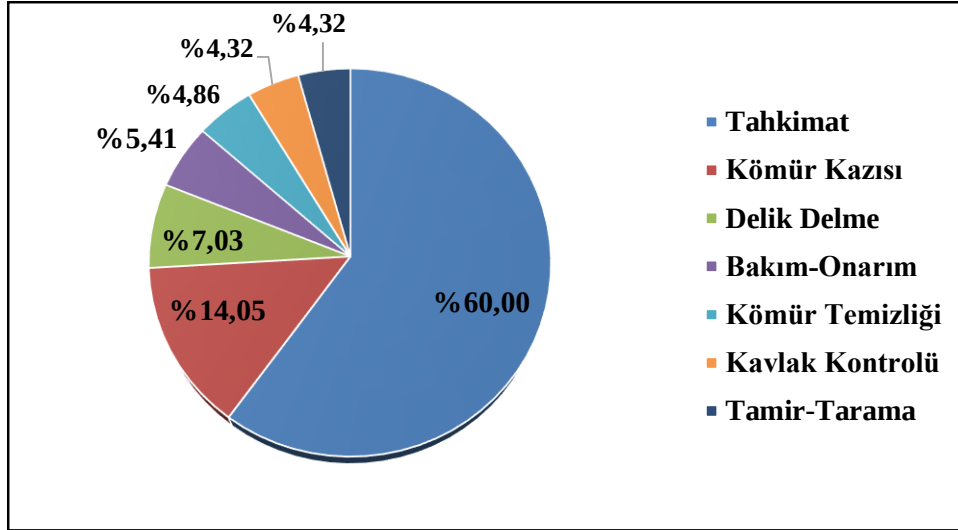
C32: Lognormal, $\mu = 3,174$, $\sigma = 1,375$ olarak tespit edilmiştir.

C4. Yetersiz eğitim: Kaza verileri incelendiğinde eğitim eksikliğinin kazaların oluşumunda etkisi olduğu görülmüştür. Hata ağacında (Şekil 4.5.) yetersiz eğitimin alt dalları pratik eğitimlerin ve İSG eğitimlerinin yetersizliği olarak değerlendirilmiş olup bu iki neden Veya-kapısı ile bağlanmıştır.

C41.Pratik eğitimlerin yetersiz olması: Teorik eğitimlerin verilmesinden sonra işe yeni başlayan çalışanlar tecrübeli ustaların yanında çalışmaya başlamaktadır. Bu esnada pratik eğitimlerini tamamlayıp, sanat dallarında uzmanlaşmaktadırlar. Ancak kaza verileri incelendiğinde özellikle kavlak düşürme prosedürleri uygulanırken, tahkimat yapım ve söküm işleri başta olmak üzere verilen eğitimlere uyulmaması veya alınan eğitimlerin yetersiz olması gibi nedenlerin etkisiyle bazı göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının gerçekleştiği görülmüştür. Bu kapsamda incelendiğinde kazaların %55,52 gibi önemli bir kısmının pratik eğitimlerin yetersiz olmasının etkisiyle olduğu tespit edilmiştir. Pratik eğitimlerdeki yetersizliklerin kazalar esnasında yapılan işlere göre dağılımı Grafik 4.3.'de verilmektedir. Bu şekilden de görüldüğü üzere pratik eğitimlerdeki yetersizlikler en fazla tahkimat yapım ve söküm işlerinde meydana gelmiş ve bunu kömür kazısı ve delik delme işlerindeki yetersizlikler takip etmiştir. Bu kök

nedenin etkisinin olduğu kazalar arasındaki gün farklarına göre bulunan olasılık dağılımı ise Weibull-3 Parametre dağılımı olarak tespit edilmiş olup katsayıları;

C41: Weibull-3 Parametre, $\beta = 0,99$, $\eta = 29,11$, $\gamma = 0,679$ olarak tespit edilmiştir.



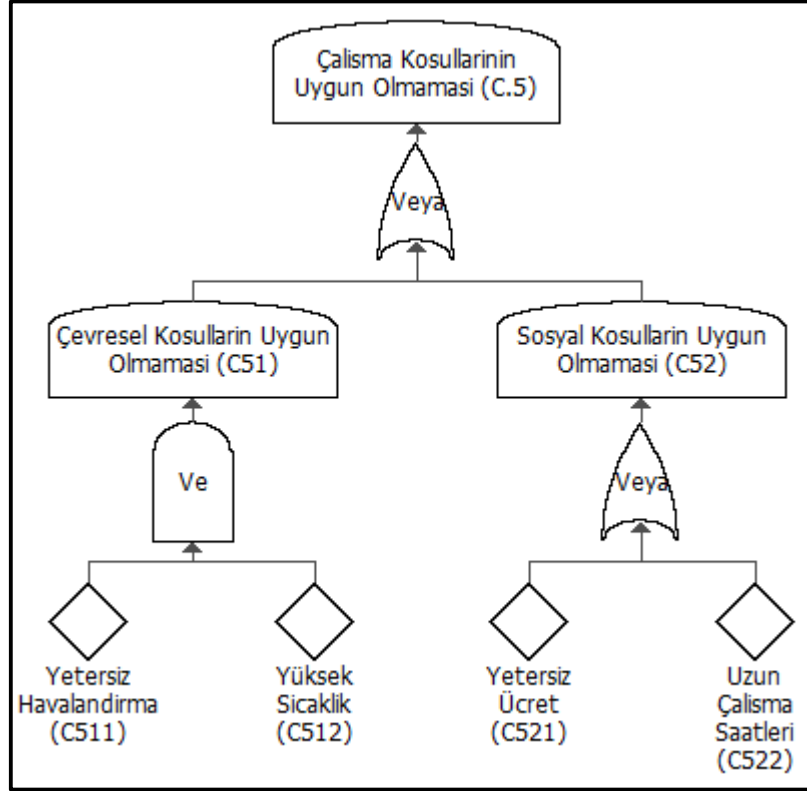
Grafik 4.3. Pratik Eğitimlerdeki Yetersizliklerin Kazalar Esnasında Yapılan İşlere Göre Dağılımı

C42. İş güvenliği eğitiminin yetersiz olması: Bu çalışma kapsamında iş güvenliği eğitim yetersizliği; verilen eğitimlerde taş-kavlak düşmesi kazalarına karşı farkındalığın arttırılmaması, KKD kullanım eğitimlerindeki yetersizlik, tahkimat talimatnamesini bütün çalışanların bilmemesi gibi etmenleri kapsamaktadır. Bu doğrultuda hata ağacı analizinde bu kök-nedenin kazalar zerinde en fazla oranla, %72'sinde etkisi olduğu tespit edilmiştir. Olasılık dağılımına bakıldığında ise Üstel dağılım özelliği gösterdiği ve katsayılarının;

C42: Üstel, $\lambda = 4,354$, $\gamma = 0,322$ olduğu görülmüştür.

C5. Çalışma koşullarının uygun olmaması: Şekil 4.5.'de gösterilen hata ağacında Çalışma Koşullarının Uygun Olmaması başlığı Transfer-kapısı ile gösterilmiş olup, Şekil 4.6.'da bu olayın hata ağacı gösterilmektedir. Hata ağacı analizi kapsamında çalışanların çalışma koşulları incelendiğinde çevresel ve sosyal çalışma koşullarındaki uygun olmayan durumlar çevresel ve sosyal koşullar olarak iki olay altında incelenmiştir ve bu olaylar Veya-kapısı ile bağlanmıştır. Çalışma koşullarının uygun olmaması olayı, kaza verilerinde bu koşullar hakkında herhangi bir

bilgi verilmemesi nedeniyle, saha ziyaretlerinde ve yapılan diğer araştırmalar neticesinde elde edilen sonuçlara göre yazılmıştır. Bu nedenle bu başlık altındaki kök-nedenler yalnız nitel olarak değerlendirilmiş ve gelişmemiş olay olarak hata ağacında yer almış, nicel olarak bir olasılık dağılımı bulunmamıştır.



Şekil 4.6. Çalışma Koşullarının Uygun Olmaması Hata Ağacı

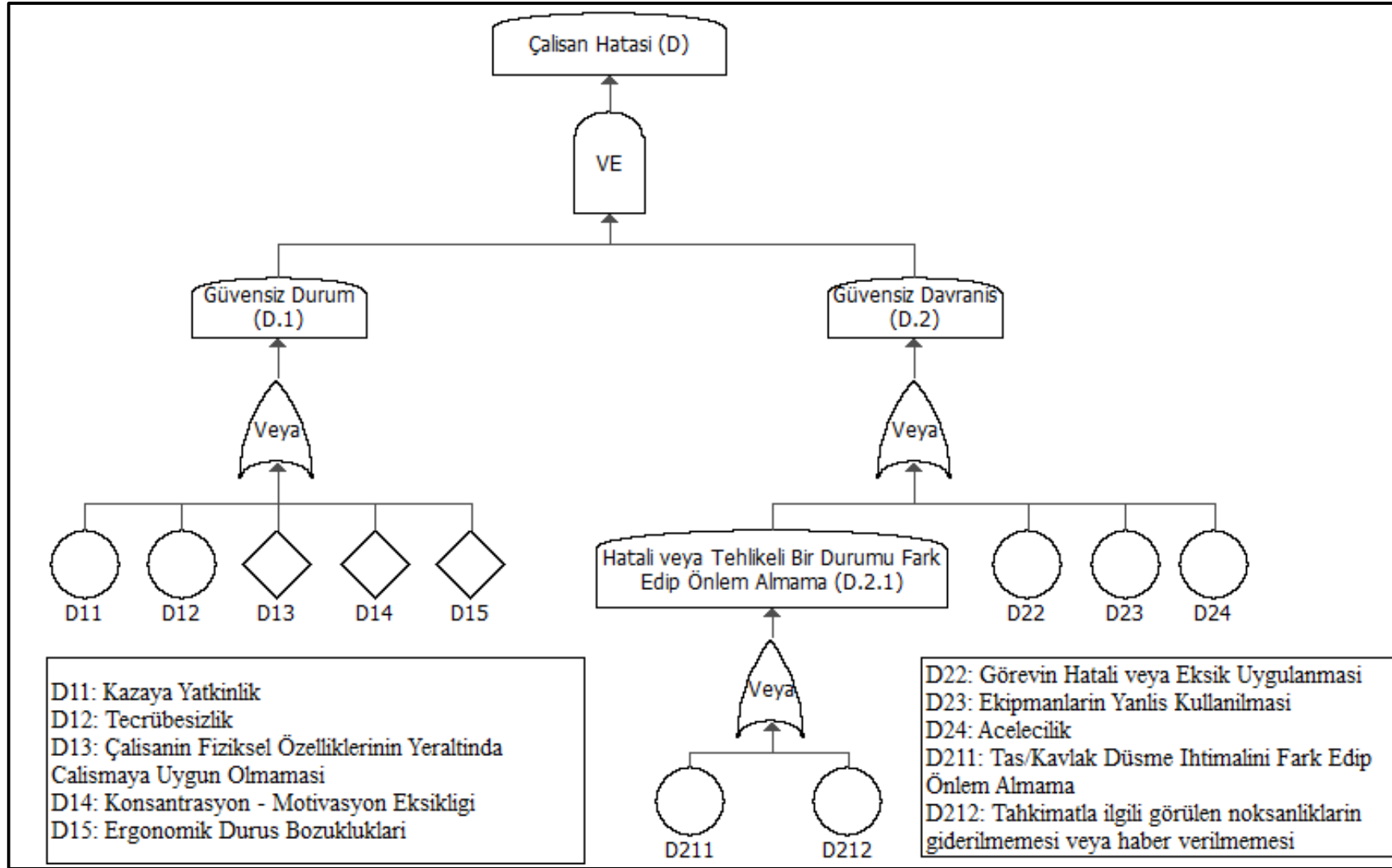
C51. Çevresel koşulların uygun olmaması: Çevresel koşulların uygun olmaması durumu çalışanların çalışma ortamında fiziksel koşullarının uygun olmaması nedeniyle rahat hissedememeleri ve bunun sonucunda kazalar yaşanması etkisine bağlı olarak oluşturulmuştur. Saha ziyaretleri esnasında yeraltında bazı kısımlarda sıcaklığın oldukça yüksek olduğu ve hava miktarının bölgeden bölgeye değişmekte olduğu ve özellikle ayaklardaki termal konforun ve havalandırmanın çalışanlar açısından yetersiz olduğu gözlemlenmiştir. Bu nedenle bu başlığın altında yer alan kök nedenler; ‘C511 Havalandırmanın yetersiz oluşu’ ve ‘C512 Termal konforun uygun olmaması’ olarak tespit edilmiştir. Bu iki neden Şekil 4.6.’da görüldüğü üzere Ve-kapısıyla bağlanmış olup bunun nedeni, ikisinin bir arada gerçekleşmesinin gerekmesidir.

C52.Sosyal koşulların uygun olmaması: Bu çalışma kapsamında iş stresinin etkileyen yönetsel nedenler olarak çalışma ücreti ve çalışma saatleri tespit edilmiştir. Bu kök nedenler; ‘C521 Yetersiz Ücret’ ve ‘C522 Uzun Çalışma Saatleri’ şeklinde oluşturulmuştur. Şekil 4.6.’da görüldüğü üzere bu iki olay Veya-kapısıyla bağlanmış olup, veri yetersizliği nedeniyle gelişmemiş-olay olarak hata ağacında gösterilmiştir.

4.1.4. Çalışan Hataları (D)

Hata ağacı analizi kapsamında çalışan hataları Şekil 4.7.’de görüldüğü gibi güvensiz durum ve güvensiz davranış olmak üzere iki dalda incelenmiştir. Güvensiz davranışlar prosedürlere uymama, temin edilen makine ve ekipmanları kullanmama veya yanlış kullanma veya tedbir almadan çalışma gibi nedenlerden oluşurken, güvensiz durumlar daha çok çalışanların psikolojik ve sosyolojik durumları ile ilgili nedenlerden oluşmaktadır. Hat ağacında bu iki hata değerlendirilirken bir kazanın oluşabilmesi için bu iki koşulun aynı anda sağlanması gerektiği düşünüldüğünden Ve-Kapısı ile bağlanmıştır. Güvensiz durum ve davranışlarla ilgili kaza nedenlerinin açıklamaları bu kısımda anlatılmaktadır.

D1. Güvensiz durum: Çalışma kapsamında güvensiz durumlar çalışanların psikolojik ve fiziksel durumlarıyla ve maden koşullarıyla ilgili olan durumları ve bu durumların kazalar üzerindeki etkisini kapsamaktadır. Güvensiz durumla ilgili kaza nedenleri beş kök neden olarak tespit edilmiştir. Bu olaylar hata ağacında Şekil 4.7.’de görüldüğü gibi Veya-kapısı ile bağlanmıştır. Bu olayların üç tanesi hata ağacı analizinde nitel olarak değerlendirilmiş olup, bunun nedeni kaza verilerinde bu durumlarla ilgili yeterli bilgi bulunmamasıdır. Bu nedenle, motivasyon ve konsantrasyon eksikliği, iş-görev uyumsuzluğu ve ergonomik duruş bozuklukları nedenleri gelişmemiş olay olarak hata ağacında yer almış, olasılık hesapları yapılmamıştır.



Şekil 4.7. Çalışan Hatası Hata Ağacı

D11. Kaza yatkınlığı: Bu çalışma kapsamında kaza yatkınlığı ölümle veya ağır yaralanmayla sonuçlanan göçük ve taş-kavlak düşmesi kazaları geçiren çalışanların 2000 – 2014 yılları arasında önceden kaç kere kaza geçirdikleri tespit edilerek belirlenmiştir. Kaza yatkınlığı belirlenirken, iki kereden fazla kaza geçiren çalışanların kazaya daha yatkın olduğu göz önünde bulundurularak değerlendirme yapılmıştır.

2000-2014 yılları arasında yeraltı taşkömürü işletmesinde göçük ve taş-kavlak düşmeleri neticesinde ağır yaralanma ve ölümle sonuçlanan kaza geçiren çalışanların %43'ünün üç veya daha fazla sayıda kaza geçirdiği tespit edilmiştir. Tablo 4.2.'de kaza geçirme sayısına göre kaza geçiren çalışanların yüzdeleri ve kümülatif yüzdeleri verilmiştir.

Tablo 4.2. Kaza Geçirme Sayısına Göre Kaza Geçiren Çalışan Yüzdeleri Ve Kümülatifleri

Kaza Sayısı	%	Kümülatif (%)
3	14,63	14,63
4	10,15	24,78
5	4,78	29,56
6	5,67	35,23
7	2,69	37,92
8	1,49	39,41
9	2,09	41,50
10	0,30	41,80
11	0,30	42,10
14	0,30	42,40
16	0,30	42,70
18	0,30	43,00

Kaza yatkınlığının olasılık dağılımı ise Üstel dağılım olarak bulunmuş olup katsayıları;

D11: Üstel, $\lambda = 0,028$, $\gamma = 0,176$ olarak tespit edilmiştir.

D12. Tecrübesizlik: Tecrübesizlik de yeraltı madenlerinde çalışanların kaza geçirmesine neden olan etkenlerden biri olup güvensiz durum olarak değerlendirilmiştir. Tablo 4.3.'te seçilen yeraltı taşkömürü işletmesinde 2000-2014 yılları arasında göçük ve taş-kavlak düşmesi nedeniyle kaza geçiren çalışanların tecrübelerine göre dağılımı verilmiştir. Bu tabloya bakıldığında kazaların %30,75'inin çalışma hayatının ilk üç yılında, neredeyse yarısının ise ilk beş yılda yaşandığı görülmektedir. Hata ağacı analizi kapsamında tecrübesizlik faktörü göz önünde bulundurulurken 3 yıl ve daha az tecrübesi

olan çalışanların geçirdikleri göçük ve taş-kavlak düşmesi kazaları göz önünde bulundurulmuştur. Bu kök nedenin olasılık dağılımı ise Lognormal dağılım olarak bulunmuş olup katsayıları;

C32: Lognormal, $\mu = 2,777$, $\sigma = 1,276$ olarak tespit edilmiştir.

Tablo 4.3. Kazaların Tecrübeye Göre Dağılımı

Tecrübe Yılı	%	Kümülatif %
0-3	30,75	30,75
3-5	17,60	48,35
5-10	27,16	75,51
10-15	15,52	91,03
15-30	8,97	100

D2. Güvensiz davranış: Hata ağacı analizinde güvensiz davranışlar tespit edilirken çalışanların yaptıkları görevler esnasında verilen eğitimlere uymayarak yaptıkları hatalar, tehlikeli bir durumun fark edilip önlem alınmaması, ekipmanların yanlış kullanımı ve çalışma esnasında acele etmek değerlendirilmiştir. Bu nedenler Şekil 4.7.'de görüldüğü gibi Veya-kapısı ile bağlanmış olup herhangi birinin meydana gelmesi durumunda güvensiz davranış nedeninin etkisiyle kazaların yaşanacağı belirlenmiştir.

D21. Hatalı veya tehlikeli bir durumu fark edip önlem almama: Çalışma kapsamında hata ağacı analizinde ilk olarak bu hatalar yönetsel hatalar altında incelenmiş olup, çalışan hataları altındaki nedenler ise; 'Taş/kavlak düşme ihtimalini fark edip önlem almama' ve 'Tahkimatla ilgili görülen noksanlıkların giderilmemesi veya yetkili kişiye haber verilmemesi' olarak belirlenmiştir. Şekil 4.7.'de de görüldüğü gibi bu iki kök-neden Veya-kapısı ile bağlanmıştır.

D211 Taş/kavlak düşme ihtimalini fark edip önlem almama: Hata ağacı analizinde taş/kavlak düşme ihtimalini fark edip önlem almama olayının etkisinin kazaların %53,43'ünde görüldüğü tespit edilmiştir. Bu kök-nedenin olasılık dağılımı ise Weibull-3 parametrelili dağılım olarak bulunmuş olup katsayıları;

D211: Weibull-3 Parametre, $\beta = 0,975$, $\eta = 28,48$, $\gamma = 0,599$ olarak tespit edilmiştir.

D212 Tahkimatla ilgili görülen noksanlıkların giderilmemesi veya yetkili kişiye haber verilmemesi: Yapılan incelemelerde tahkimatla ilgili görülen noksanlıkların giderilmemesi veya yetkili kişiye haber verilmemesi konusunda eksiklikler mevcuttur. Hata ağacı analizinde bu nedenin etkisinin kazaların %15,52'sinde görüldüğü tespit edilmiştir. Olasılık dağılımı ise Lognormal dağılım olarak tespit edilmiş olup katsayıları;

D212: Lognormal, $\mu = 4,115$, $\sigma = 1,08$ şeklindedir.

D22. Görevin yanlış veya eksik uygulanması: Bu kök neden tahkimat yapımı- sökümü, kavlak kontrolü, delik delme, tamir tarama gibi prosedürleri uygularken, çalışanların yaptıkları hataların etkisiyle meydana gelen kazaları içermektedir. Bu hatalar eğitimlerin yeterli verildiği ve denetimlerin yeterli yapılması halinde çalışanların kurallara uymaması veya verilen eğitime göre davranmamaları durumlarını içermektedir. Analiz sonucunda kazaların %46,87'sinde bu nedenin etkisi olduğu tespit edilmiştir. Pratik eğitimlerin yetersiz olmasının en fazla tahkimat yapım ve söküm işlerinde görülmesi gibi, göçük ve taş-kavlak düşmesinden kaynaklanan kazalar için, uygulanan prosedürlerde de en fazla hatanın tahkimat yapım ve söküm işlerinde gerçekleştiği görülmüştür. Bu hatanın olasılık dağılımı ise Weibull-3 parametrelili dağılım olarak bulunmuş olup katsayıları;

D22: Weibull-3 Parametre, $\beta = 0,898$, $\eta = 32,52$, $\gamma = 0,573$ olarak tespit edilmiştir.

D23. Ekipmanların yanlış kullanılması: Ekipmanların yanlış kullanılması KKD'lerin, kavlak düşürme ekipmanlarının, martopikörlerin veya bakım-onarım esnasında kullanılan diğer el aletlerinin gerekli önlemler alınmadan kullanılması veya hiç kullanılmaması gibi durumlar sonucunda oluşan göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarını oluşturmaktadır. KKD'lerin kullanılmaması veya yanlış kullanılması için göz ve baş yaralanmaları göz önünde bulundurulurken, delik delme esnasında yaşanan kazalar incelenip hangilerinin martopikörlerin yanlış kullanımı sonucunda oluştuğu veya bakım-onarım/tamir-tarama işleri esnasında hangi kazaların el aletlerinin yanlış kullanımı sonucunda oluşabileceği tespit edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda kazaların %11,9'unun ekipmanların yanlış kullanımının etkisiyle oluştuğu tespit

edilmiştir. Bu olayın olasılık dağılımı Weibull- 2 Parametrelili dağılım olarak bulunmuş olup katsayıları;

D23: Weibull-2 Parametre, $\beta = 1,119$, $\eta = 130,49$ olarak tespit edilmiştir.

D24. Acelecilik: Yapılan incelemelerde özellikle tahkimat ve kömür kazısı işlerinde çalışanların acele etme eğiliminde oldukları hem mühendislerle yapılan görüşmeler sonucunda öğrenilmiş, hem de kaza verilerinde göze çarpmaktadır. Bu nedenle acele etme eğiliminin kazaların yaşanmasında etkisinin yüksek olduğu görülmüş olup hata ağacı analizi sonucunda %53,73 kazada bu faktörünün etkisi görülmüştür. Bu olayın olasılık dağılımı ise Weibull-3 Parametrelili dağılım olarak bulunmuş olup katsayıları;

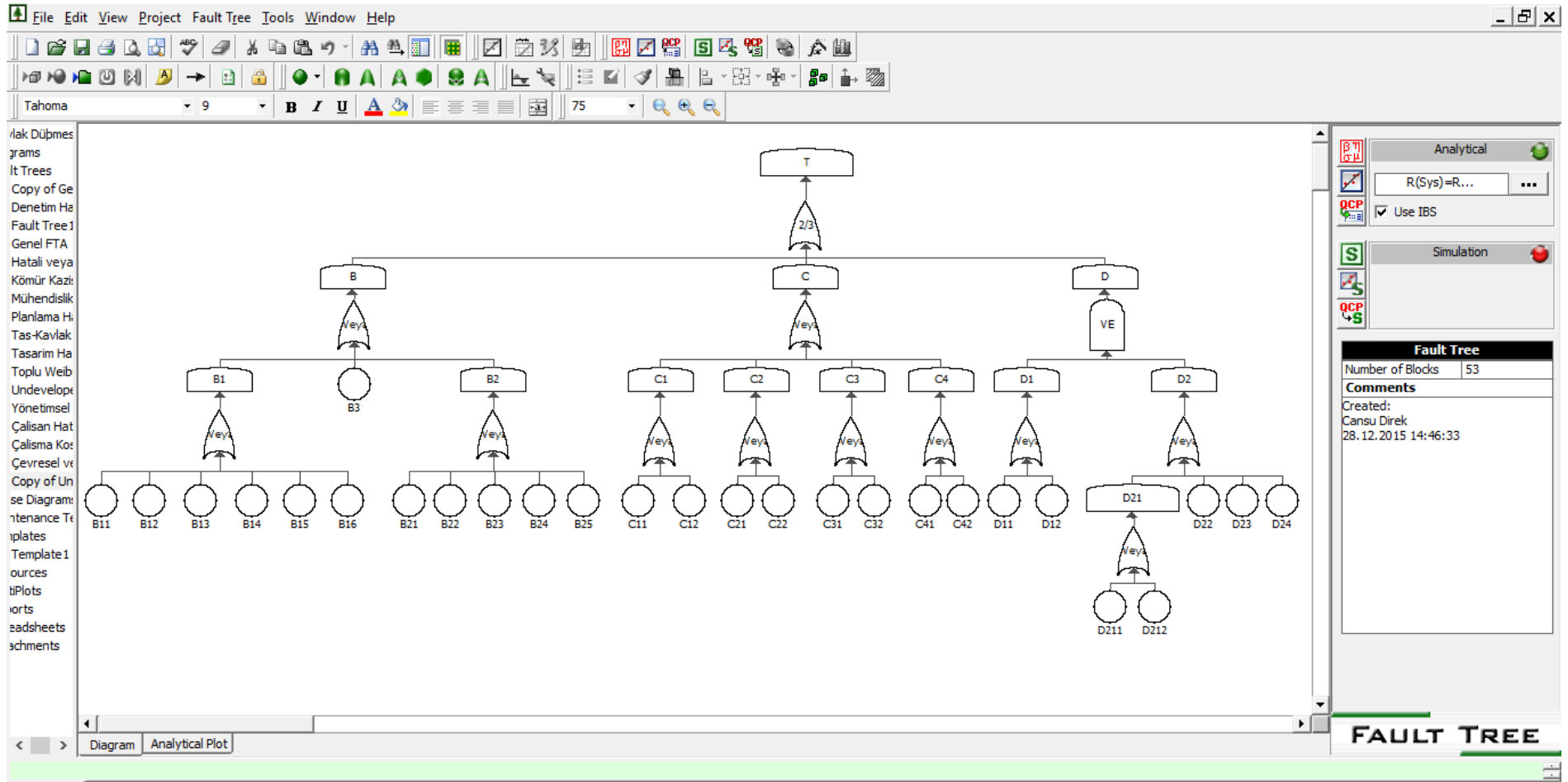
D24: Weibull-3 Parametre, $\beta = 1,039$, $\eta = 29,21$, $\gamma = 0,605$ olarak tespit edilmiştir.

4.2. NİCEL HATA AĞACI ANALİZİ

Hata ağacının oluşturulması sonucunda seçilen işletmede, göçük ve taş-kavlak düşmesinden kaynaklanan kazalar tepe olayı için 4 ana neden, 12 ara neden ve 42 kök-neden tespit edilmiştir. Bu olayların hepsi bölümün başındaki Tablo 4.1.'de gösterilmektedir. Nicel hata ağacı analizinde ise tespit edilen 27 temel olayın kazaları hangi oranda etkilediklerinin yüzdesel oranları ve dağılımları bulunmuştur. Bu temel olayların başarısızlık ihtimallerinin bulunması için ReliaSoft Blocksim-7 ve Weibull-7 programları kullanılmıştır. Blocksim-7 program hata ağacının oluşturulması, olaylar arasındaki ilişkilerin gösterilmesi ve sonucunda hata ağacı analizinin uygulanarak başarısızlık ihtimali en yüksek olan temel olayların tespiti için kullanılmıştır. Weibull-7 programı ise sistem içindeki her bir temel olayın olasılık dağılımlarının, kazalar arasındaki günler üzerinden hesaplayarak tespiti için kullanılmıştır. Tespit edilen her temel olayın Weibull-7 programı kullanılarak tespit edilen ve Hata Ağacı Analizinin Uygulaması bölümünde belirtilen dağılımları bir arada Tablo 4.4.'de verilmektedir. Gelişmemiş olayların hata ağacından çıkarılmasıyla elde edilen hata ağacı ise Şekil 4.8'de verilmiştir.

Tablo 4.4. Temel Olaylar, Kazaları Etkileme Oranları ve Olasılık Dağılımları

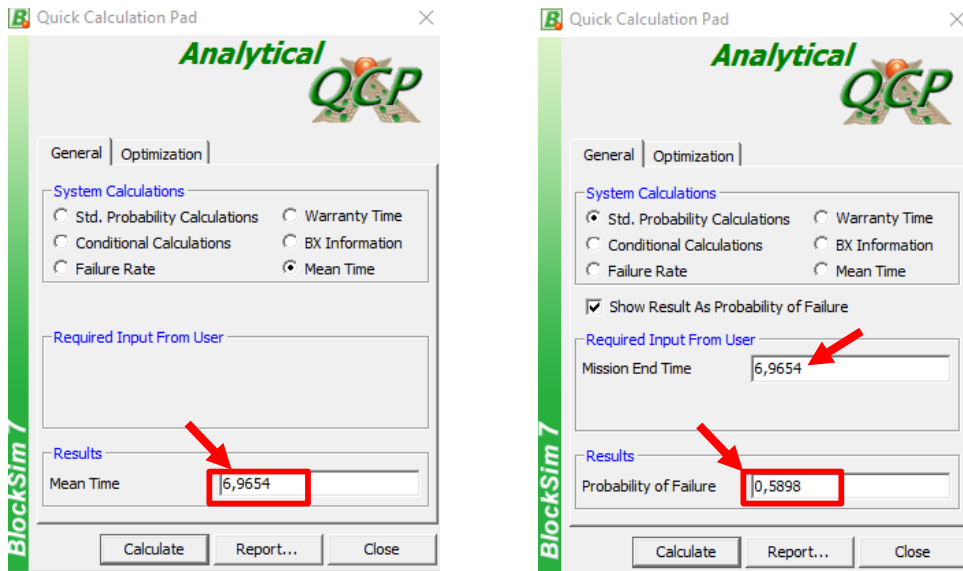
Olay	%	Dağılım
B11. Uygun tahkimat malzemesinin seçilmemesi	54,00	Üstel
B12. Tahkimat çevresindeki boşlukların doldurulmaması	14,33	Weibull-3P
B13. Yetersiz kama kullanılması	60,00	Weibull-3P
B14. Domuzdamından kaynaklanan hatalar	0,05	Weibull2P
B15. Tahkimatın hasar görmesi veya sağlam olmaması	27,5	Weibull-3P
B16. Tahkimat yetersizliği veya eksikliği	59,7	Weibull-3P
B21. Ayak yüksekliğinin fazla olması	40,60	Weibull-3P
B22. Ayak arkasının hatalı kesilmesi	4,18	Weibull-3P
B23. Tavandaki çatlak veya kesiklere dikkat edilmeden ilerlenmesi	21,79	Lognormal
B24. Tavanda kömür yükselmesi durumunda önlem almama	53,13	Weibull-3P
B25. Tahkimatı tamamlanmayan arında kazı yapılması	23,28	Weibull-3P
B3. Hatalı patlatma	4,2	Weibull-3P
C11. Tahkimat denetimlerinin yetersiz olması	26,86	Weibull-3P
C12. Kavlak kontrollerinin yetersiz olması	23,28	Lognormal
C21. Yetersiz veya uygunsuz KKD temini	31,64	Weibull-3P
C22. Kullanılan el aletlerinin uygun olmaması	7,76	Weibull-3P
C31. Risk değerlendirmesinin yetersiz olması	35,82	Weibull-3P
C32. Tecrübesiz çalışanların tehlikeli görevlerde çalıştırılması	17,31	Lognormal
C41. Pratik eğitimlerin yetersiz olması	55,52	Weibull-3P
C42. İş güvenliği eğitiminin yetersiz olması	72,00	Üstel
D11. Kaza yatkınlığı	43,00	Üstel
D12. Tecrübesizlik	30,75	Lognormal
D211 Tas/Kavlak Düşme İhtimalini Fark Edip Önlem Almama	53,43	Weibull-3P
D212 Tahkimatla ilgili görülen noksanlıkların giderilmemesi	15,52	Lognormal
D22. Görevin yanlış veya eksik uygulanması	46,87	Weibull-3P
D23. Ekipmanların yanlış kullanılması	11,90	Weibull-2P
D24. Acelecilik	53,73	Weibull-3P



Şekil 4.8. Temel Olayları Gösteren Hata Ağacı

Hata ağacı analizi uygulamasında ilk olarak belirlenen kök-nedenler göz önünde bulundurularak tepe olay olan göçük ve taş-kavlak düşmesi kazasının oluşması için ortalama zaman tespit edilmiştir. Blocksim-7 kullanılarak yapılan analizde Resim 4.2.a.'da görüldüğü gibi, işletmede göçük ve taş-kavlak düşmesi nedeniyle kaza oluşması için ortalama zaman yaklaşık '7 gün' olarak tespit edilmiştir.

Belirlenen bu ortalama zamana göre, sistemin başarısızlık ihtimali hesaplanmıştır. Başarısızlık ihtimali sistemin belirli bir zamandaki başarısız olma yani bu analiz kapsamında düşünüldüğünde, 'göçük veya taş-kavlak düşmesi kazası gerçekleşmesi ihtimali' anlamına gelmektedir. Blocksim-7 programı kullanılarak yapılan hesaplama sonucunda, Resim 4.2.b.'de de görüldüğü gibi hata ağacı analizi sonucunda işletmede 7 günde bir %58,98 ihtimalle göçük veya taş-kavlak düşmesi nedeniyle kaza meydana geldiği tespit edilmiştir.



Resim 4.2.a. Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi Kazalarının Ortalama Zamanı (solda) b. Sistemin Ortalama Zamana Göre Başarısızlık İhtimali (sağda)

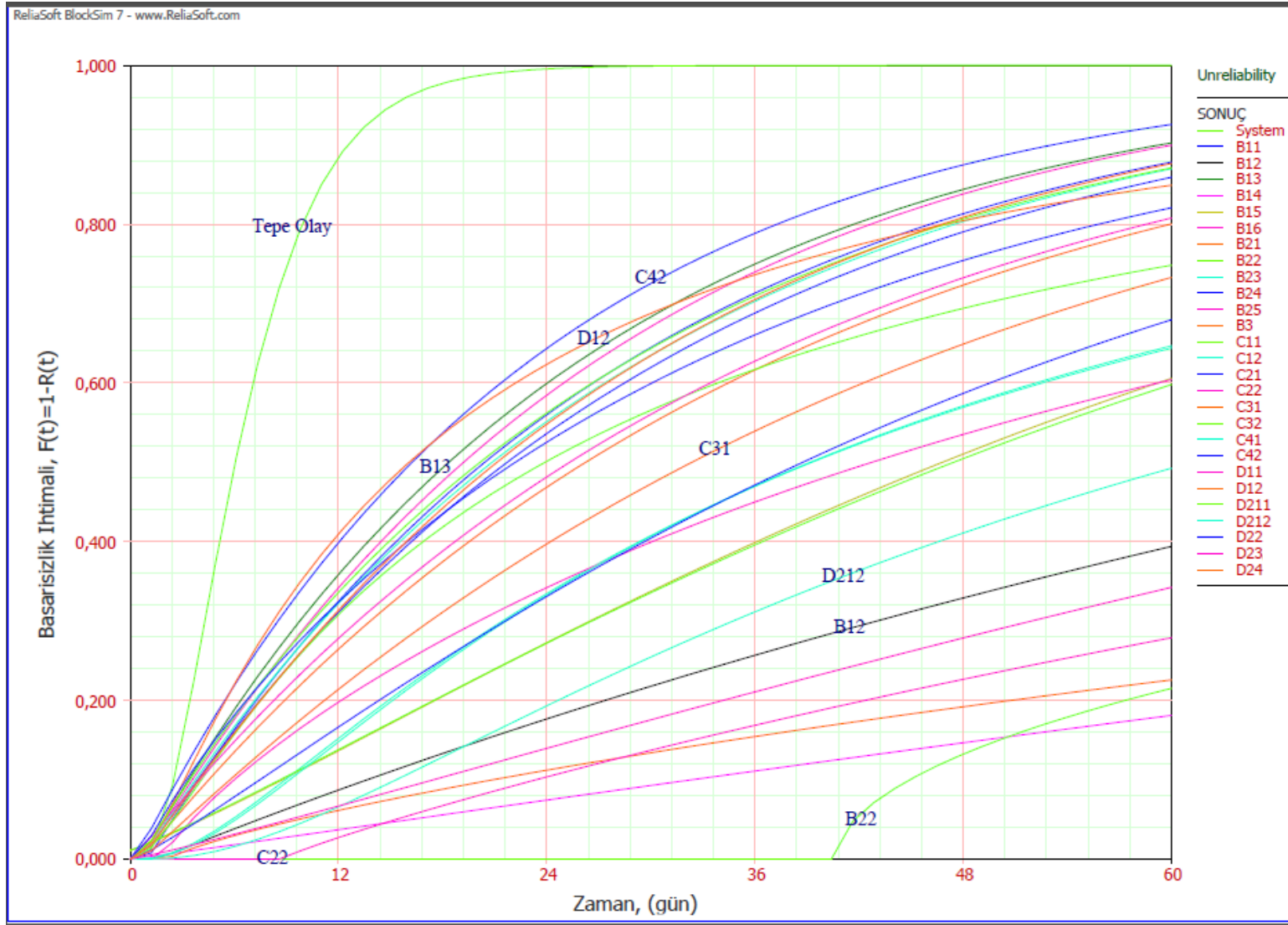
Bu olayların her birinin sistemden ve birbirinden bağımsız şekilde ortalama zamandaki (6,9654 gün) başarısızlık ihtimalleri, yani bu nedenlerin tek başlarına etkisiyle kaza oluşması ihtimalleri Tablo 4.5.'te verilmektedir. Bu ihtimallere bakıldığında en yüksek olasılığın D12- Tecrübesizlik (%25,62), C42- İş güvenliği eğitiminin yetersiz olması (%25,12) ve B13- Yetersiz kama kullanılması (%21,86) olduğu görülmektedir. Ayrıca B22- Ayak arkasının hatalı kesilmesi ve C22- Kullanılan el aletlerinin uygun olmaması temel olayları nedeniyle 7 gün içinde bir kaza olasılığı beklenmediği de görülmektedir.

Tablo 4.5. Temel Olayların Ortalama Zamandaki Başarısızlık İhtimalleri

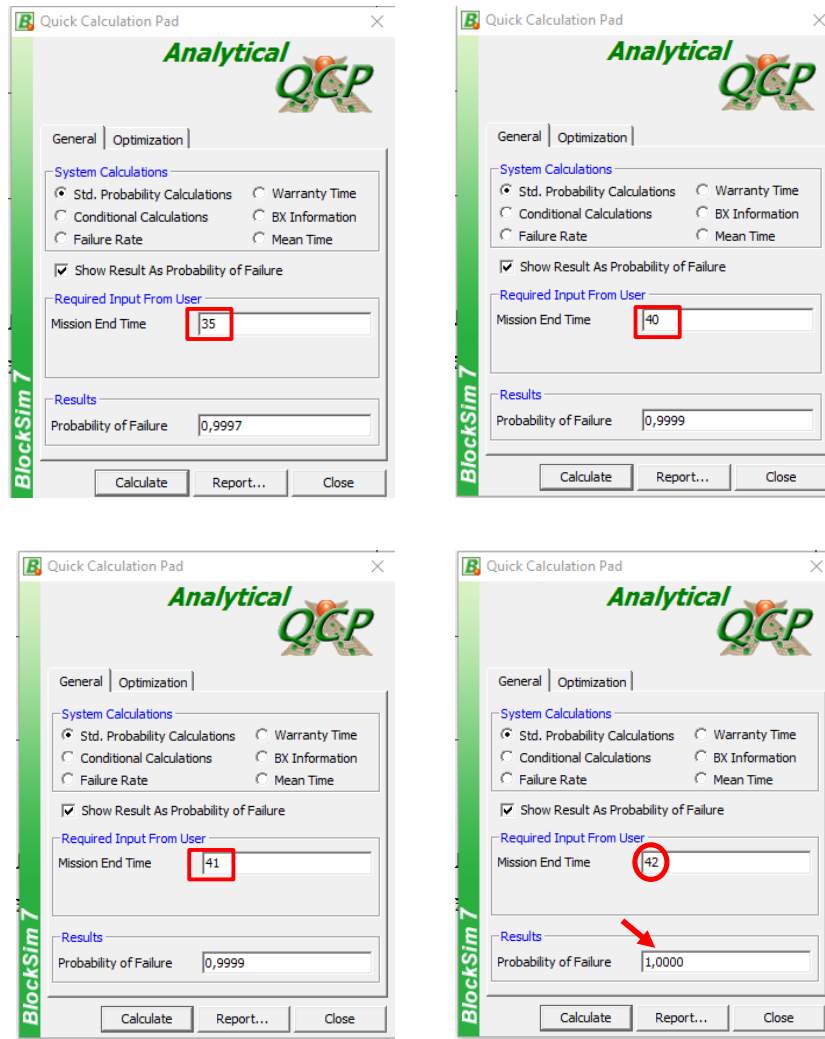
Olay	Başarısızlık İhtimali	Olay	Başarısızlık İhtimali
D12	0,2562	B25	0,1179
C42	0,2512	C21	0,0925
B13	0,2186	C11	0,0815
D22	0,2072	B15	0,0801
D211	0,207	B23	0,0671
B16	0,2051	C12	0,0634
C41	0,1943	B12	0,0463
B11	0,1917	D23	0,037
B24	0,1868	B3	0,0353
D24	0,1855	D212	0,0222
C32	0,185	B14	0,0212
D11	0,1706	B22	0
B21	0,1573	C22	0
C31	0,1232		

Sistemin ve temel olayların 60 gün içindeki başarısızlık ihtimalleri Grafik 4.4.'te verilmiştir. Bu grafiğe bakıldığında sistemin yaklaşık 30- 45 gün içinde %100 ihtimalle başarısız olacağı, yani göçük ve taş-kavlak düşmesinden kaynaklanan kazaların kesin olarak 30- 45 günde bir meydana geleceği görülmektedir. Bununla birlikte B22- Ayak arkasının hatalı kesilmesi olayının etkisiyle yaklaşık 40 gün hiçbir kaza olması beklenmediği, aynı şekilde C22- Kullanılan el aletlerinin uygun olmaması olayının etkisiyle yaşanan kazaların yaklaşık ilk sekiz gün beklenmediği ancak daha sonra artış gösterdiği görülmektedir.

Sistemin kesin olarak kaç gün içinde başarısız olacağının belirlenmesi için 30, 35, 40, 41, 42 gün için ayrı ayrı deneyerek manuel olarak hesaplamalar yapılmış ve sırasıyla %99,91, %99,97, %99,99 ve sonucunda 42 gün içinde sistemin %100 ihtimalle başarısız olacağı tespit edilmiştir. Diğer bir değişle işletmede 42 günde bir göçük veya taş-kavlak düşmesi nedeniyle kaza yaşanması beklenmektedir. Blocksim-7 programı kullanılarak yapılan bu işlemler Resim 4.3.'de gösterilmiştir.



Grafik 4.4. Temel Olaylar ve Sistemin Zamana Göre Başarisizlık İhtimali Grafiği



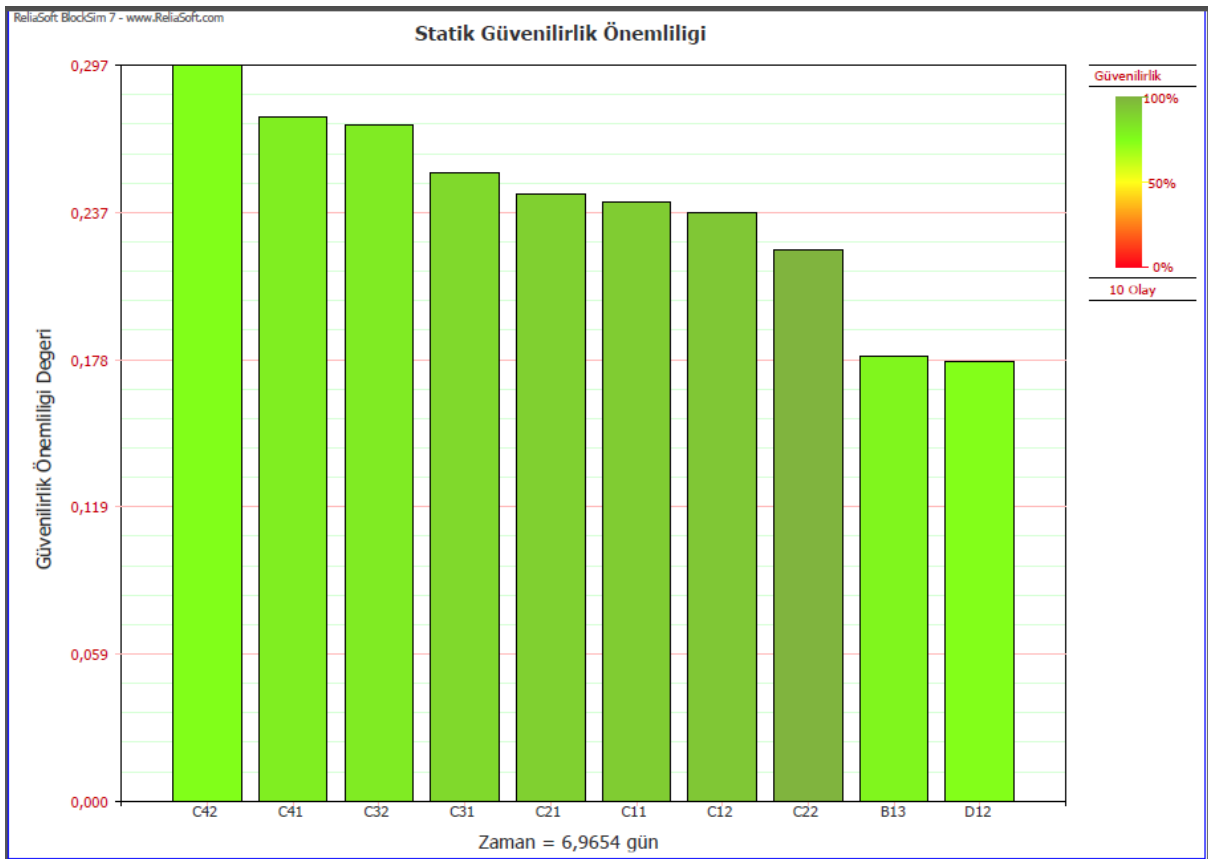
Resim 4.3. %100 İhtimalle Göçük, Taş-Kavlak Düşmesi Kazasının Beklendiği Zamanın Tespiti

Bu bilgiler doğrultusunda Blocksime-7 programı kullanılarak hata ağacı analizi sonucunda her bir temel olayın statik güvenilirlik önemleri (“static reliability importance”) belirlenmiştir. Statik güvenilirlik önemi tezin Gereç ve Yöntemler kısmında anlatıldığı şekilde, göçük ve taş-kavlak düşmesi nedeniyle kaza oluşmasının kök-nedenleri olan temel olayların bu kazalara olan etkisinin öneminin belirlenmesi için kullanılmıştır. Diğer bir deyişle, hata ağacı analizi sonucunda belirlenen kök nedenler göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarına en fazla neden olandan en az neden olana doğru belirlenmiştir.

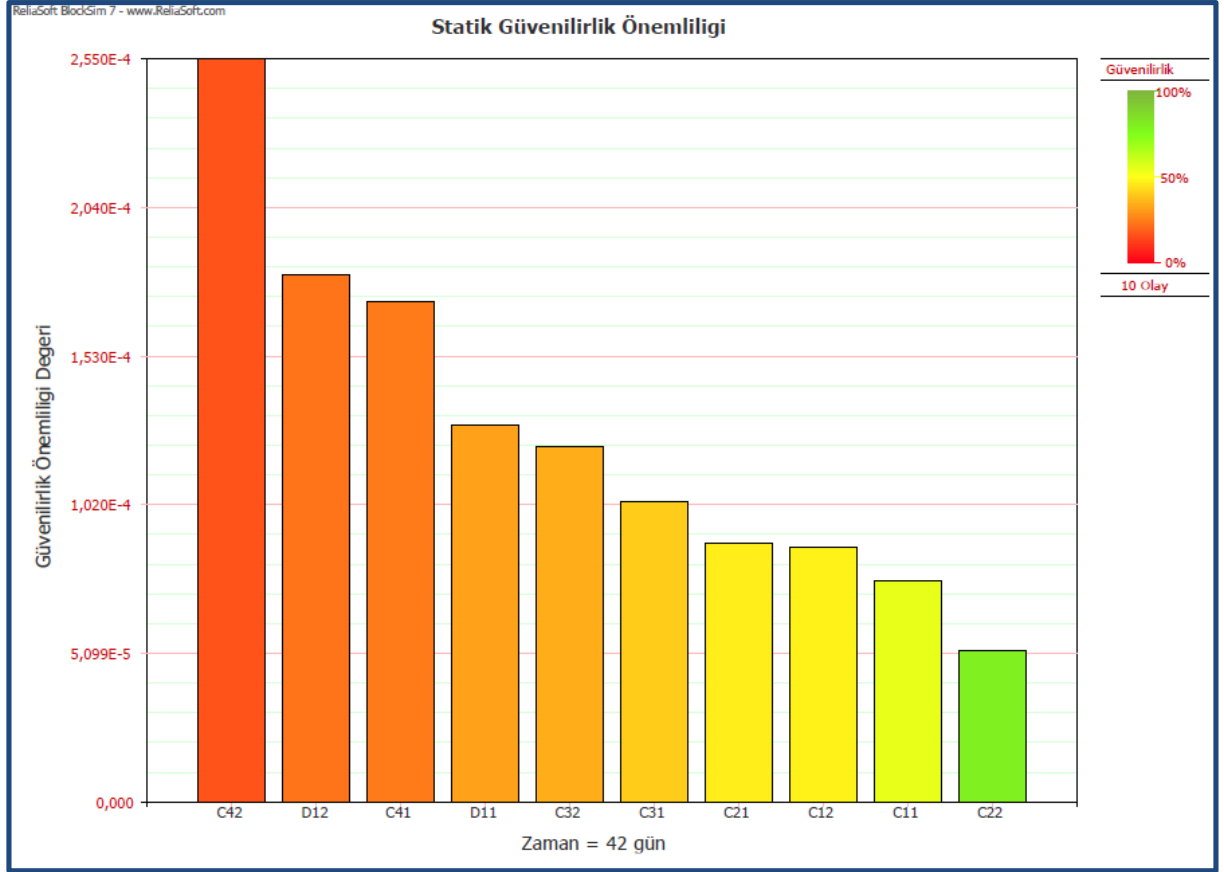
Sistemde göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının oluşması için ortalama zaman olan yedi gün için ilk on temel olayın statik güvenilirlik önemlilik grafiği Grafik 4.5.’de verilmektedir. Blocksime-7 programı kullanılarak oluşturulan bu grafikte sağ üst köşedeki ölçeğe göre güvenilirlik arttıkça sütunların renginin yeşile yaklaştığı ve bu nedenle 7 günlük süre zarfında

on olayın da güvenilirliğinin yüksek olduğu görülmüştür. Sistem içerisindeki göçük ve taş-kavlak düşmesi kazası oluşturması önemlerine bakıldığında ise ortalama zamandaki en önemli, diğer bir deyişle en fazla göçük ve taş-kavlak düşmesi kazasına sebep olan ilk üç olay C42-. İş güvenliği eğitimlerinin yetersiz olması, C41-Pratik eğitimlerin yetersiz olması ve C32-Tecrübesiz çalışanların tehlikeli görevlerde çalıştırılması olarak tespit edilmiştir.

Aynı şekilde işletme göçük ve taş-kavlak düşmesi kazasının kesin olarak oluşmasının beklendiği 42 gün için statik güvenilirlik önemliliği grafiğine bakıldığında, Grafik 4.6.'da da görüldüğü üzere, sütunların renginin kırmızıya yaklaştığı yani güvenilirliklerinin azaldığı görülmüştür. Göçük ve taş-kavlak düşmesi kazası oluşturması önemlerine bakıldığında ise en önemli ilk üç olay C42-. İş güvenliği eğitimlerinin yetersiz olması, D12- Tecrübesizlik ve C41-Pratik eğitimlerin yetersiz olması olarak belirlenmiştir.



Grafik 4.5. Ortalama Zamandaki Statik Güvenilirlik Önemliliğine Göre İlk 10 Olay



Grafik 4.6. 42 Gündeki Statik Güvenilirlik Önemliliğine Göre İlk 10 Olay

5. TARTIŞMA

Bu tez çalışması bir yeraltı taşkömürü işletmesinde 2000-2014 yılları arasında meydana gelen göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının nedenlerinin araştırılması amacıyla yapılmıştır. Bu amaçla havzadaki işletmelere saha ziyaretleri gerçekleştirilmiş, 2000-2014 yılları arasında beş işletmede gerçekleşen kaza verileri incelenmiştir. Bu incelemeler sonucunda kazaların en fazla göçük ve taş-kavlak düşmeleri nedeniyle meydana geldiği belirlenmiş ve bu kazaların kaynaklarının tespit edilip önlenmesi amacıyla Hata Ağacı Analizi (HAA) metodunun kullanılmasına karar verilmiştir.

Hata Ağacı Analizi istenmeyen belirli bir olay veya durumu (tepe olay) oluşturan faktörleri analiz etmek ve tanımlamak için kullanılan bir risk analizi metodudur. Bu faktörler çıkarımsal olarak tanımlanarak organize edilir ve bunların tepe olay ile mantıksal bağlarını gösteren bir ağaç grafiğinde resimli bir şekilde sunulur. Bu ağaç grafiğinde yer alan faktörler istenmeyen duruma sebebiyet veren arızalar, çevresel faktörler ya da insan kaynaklı hatalarla ilgili durumlar olabilir [48]. Uygulanan HAA sonucunda işletmede göçük ve taş-kavlak düşmelerine sebep olan dört ana neden, on iki ara neden ve kırk iki kök-neden tespit edilmiştir.

Literatürde bu konuyla ilgili yapılan yayınlar ve makaleler bulunmuş ve bu çalışmaların ortak noktaları ve farklılıkları incelenerek tez çalışmasına katkıda bulunması amacıyla değerlendirmelerde bulunulmuştur.

Hata ağacı oluşturulurken bir kazanın meydana gelmesi için tek bir nedenin değil, birçok nedenin bir araya gelmesi gerektiğinin belirtildiği kaza teoremleri göz önünde bulundurulmuştur. Her kazanın ardında bu kazaya katkıda bulunan faktörler, nedenler ve alt nedenler vardır. Bütün bu faktörler bir araya gelerek kazaları oluşturur. Yararlanılan bu kaza teoremlerinin ilki ise Heinrich'in [55] 1931 yılında kaza oluşumlarını incelediği çalışmasında, bir kazanın birçok faktörün değişik şekilde bir araya gelmeleri sonucunda oluştuğunu belirtmesi ve bununla ilgili olarak 'domino teorisini' geliştirmesidir. Bu teoremden, çevresel etmenlerin, insan hatalarının ve güvensiz durum ve davranışların kazalara, bu kazaların da sakatlık ve ölümlere yol açtığı anlatılmaktadır. Daha sonra Bird ve Loftus [56] bu teoremi geliştirerek yönetsel hataların da kaza nedenlerine eklenmesi gerektiğini belirtmişlerdir. Peterson [57] ise her bir kazanın arkasında çeşitli etkenler bulunduğunu ve bunların nedenler ve alt-nedenler olarak belirlenmesi gerektiğini belirtmiştir. Peterson'un geliştirdiği 'birden fazla nedensellik teorisine' (theory of multiple causation) göre bu etkenler rastlantısal bir şekilde bir araya gelerek

kazalara sebep olmaktadır. Kaza araştırmaları yapılırken, tek bir neden üzerinde durmak yerine, mümkün olduğunca çok neden üzerinde durulması gerekir. Bu nedenle bu tez çalışması kapsamında da oluşan her kazanın tek bir nedenden dolayı değil, aksine birçok nedenin bir araya gelmesinden dolayı oluştuğu kabul edilerek, her kazanın kaynağı olabilecek çeşitli neden ve kök-nedenler hata ağacı yöntemiyle tespit edilmiştir.

Tez alışması kapsamında uygulanan hata ağacı analizi sonucunda 27 temel olay tespit edilmiştir. Yapılan hata ağacı analizi sonucunda kazalara en fazla etkisi olan olayların İSG eğitimlerindeki yetersizlikler, pratik eğitimlerdeki yetersizlikler, tecrübesizlik, tecrübesiz çalışanların tehlikeli görevlerde çalıştırılması ve işletmedeki risk değerlendirmesinin yetersiz olması olarak tespit edilmiştir.

İlk olarak, belirlenen nedenler arasında ilk iki sırada yer alan İSG eğitimlerindeki ve pratik eğitimlerdeki yetersizlikler incelenmiştir. Literatürde İSG eğitimlerinin gerekliliğinin araştırıldığı ve bu eğitimlerin amaçlandığı şekilde etkili olup olmadığıyla ilgili çalışmalar bulunmaktadır. Bunun bir rneği Robson ve ark. [58] İSG eğitimlerinin iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlemede etkili olup olmadığını tespit etmek için gerçekleştirdikleri bir çalışmadır. Bu araştırmada 1996-2007 yılları arasında İSG eğitimlerinin etkinliği çalışanların, bilgi, tavır ve inanış, davranış ve sağlık durumları üzerinden incelenmiştir. Yapılan araştırma sonucunda, İSG eğitimlerinin çalışanların davranışlarını olumlu yönde etkilediğinin ve geliştirdiğinin saptandığı belirtilmiştir. Cohen ve Colligan'ın [59] yapmış oldukları çalışmada ise İSG eğitimlerinin, İSG açısından farkındalığın arttırılması ve davranışların iyileştirilmesi yönünde gelişmeler sağladığı belirtilmiştir. Burke ve ark. [60] yapmış oldukları çalışmada İSG eğitimlerinin etkili olabilmesi için çalışanların daha katılımcı olmaları gerektiği ve İSG'nin geliştirilmesinin yalnızca bu katılımla gerçekleşebileceği belirtilmiştir. Bununla birlikte pasif eğitim metotlarının iş kazalarını önlemede etkili olamayacağı, iyi seviyede bir eğitim ve yüksek katılımla İSG koşullarının iyileştirilebileceği ve iş kazalarının azaltılabileceği vurgulanmıştır.

Kejrival [61] tahkimatlar yapılırken kurallara uyulmaması ve kavlak düşürme işlemlerinin doğru yapılmamasının tavan ve yan kayaçların göçmesi kazalarının en önemli nedenlerinden olduğunu tespit etmiştir. Allanson [62] zemin kontrolündeki riskleri ve tehlikeleri belirlemek için yapmış olduğu çalışmada tahkimat yapım ve söküm işlerindeki yetersizliklerin kazaların nedenleri arasında olduğunu belirtmiştir. Bu tez çalışmasında benzer şekilde pratik eğitimlerdeki yetersizlikler nedeniyle kaza geçirme ve bu kazalar sonucunda yaralanma oranlarının oldukça yüksek olduğu ve bunların tahkimat yapım ve söküm işleri, kömür kazısı,

delik delme, bakım-onarım, kavlak kontrolü, pasa temizliği ve tamir-tarama prosedürlerini uygularken çalışanların yeterli eğitimleri olmaması nedeniyle yaşandığı görülmüştür.

Tez çalışması kapsamında göçük ve taş-kavlak düşmesi nedeniyle meydana gelen kazaların tespit edilen diğer önemli nedenleri ise tecrübesizlik ve tecrübesiz çalışanların tehlikeli görevlerde çalıştırılması olarak belirlenmiştir. Analiz kapsamında tecrübesiz çalışanların tehlikeli görevlerde çalıştırılması incelenirken üç yıldan az süreli çalışanların tehlikeli işleri yaparken geçirmiş oldukları kazalar göz önünde bulundurulmuştur. MSHA [27] tarafından yapılan bir araştırmada 2000-2007 yılları arasında ABD’de gerçekleşen göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının yaklaşık %50’sinin iki yıl ve daha az tecrübeye sahip çalışanların başına gelmiş olduğu tespit edilmiştir. Margolis [25] yapmış olduğu çalışmada özellikle çalışmaya başlanılan ilk senede çalışanların daha fazla kaza geçirdiklerini tespit etmiştir. Bununla birlikte, tecrübeli çalışanların kazaları önlemek amacıyla kaynakları daha verimli kullandıkları bu nedenle kazalara tecrübesiz olanlar kadar yatkın olmadıkları belirlenmiştir. Leflamme ve Menckel [63] yapmış oldukları çalışmada ise yeraltı kömür madenciliğinin teşkil ettiği yüksek riskler nedeniyle, zorlu koşullara ayak uydurulması ve güvenli davranış oluşturulması için tecrübe gerektiğinden ve bu nedenle, tecrübesi daha az olan çalışanların özellikle madenlerde tecrübeli olanlara kıyasla kazalara daha yatkın olduğunu açıklamıştır. Bunun nedeninin ise tecrübe arttıkça yapılan işe ve maden koşullarına sağlanan adaptasyon olduğu belirtilmiştir.

Tez çalışması kapsamında tespit edilen diğer önemli kaza nedeni risk değerlendirmesinin yetersiz oluşudur. Seçilen işletmede risk değerlendirmesi 5*5 L tipi Matris yöntemiyle yapılmıştır. Risk değerlendirmesi incelendiğinde, mevcut değerlendirmenin yetersiz olduğu, pek çok tehlike sınıfının bu değerlendirmede yer almadığı ve özellikle göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarına karşı yeterli risk değerlendirmesinin yapılmadığı ve saptanan risklerinin çoğunun orta veya düşük risk seviyesinde değerlendirildiği görülmüştür. İşletmedeki muhtemel tehlike ve risklerin tespit edilmemesinin, bu kazaların önlenememesindeki en büyük etkenlerden biri olduğu tespit edilmiştir. Bu tez çalışmasında göçük ve taş-kavlak düşmesi kazasını oluşturan mevcut nedenlerin tespit edilmesi için bir risk değerlendirme metodu olan Hata Ağacı Analizi kullanılmıştır ve yalnızca göçük ve taş-kavlak düşmesi olayları incelemiş, işletmenin geri kalan kısmındaki tehlike ve risklere değinilmemiştir.

Dünyada bu konuyla ilgili yapılan çalışmalara bakıldığında, Jiang ve ark. [64] 1998-2000 yılları arasında yeraltı madenlerinde gerçekleşmiş olan 146 adet göçük kazası Hata Ağacı Analizi ve Fuzzy Mantık Teoremi kullanarak araştırmıştır. Tepe olayı göçük kazaları olan bu hata

ağacında dört ara ve yirmi sekiz temel olay belirlenmiştir. Analiz sonucunda beş temel olayın göçük kazalarının oluşumunda etkisinin daha yüksek olduğu görülmüştür. Bu olaylar önem sırasına göre; geniş tahkimatsız alanların bulunması, jeolojik süreksizliklerin yoğun olduğu bölgelerde kazı çalışmaları yapılması, tavanın uzun süre tahkimatsız bırakılması, güvenlik kültürü eksikliği ve tahkimat sistemindeki mühendislik kalitesinin düşük olması olarak bulunmuştur. Jiang ve ark. [64] bulduğu tahkimatsız geniş alanlar bırakılması ve tavan tahkimatın olmaması olayları bu tez çalışmasında ise mühendislik hataları olarak, tasarım hatalarının alt nedenlerinde; uygun tahkimat malzemesinin seçilmemesi, tahkimat çevresindeki boşlukların doldurulmaması, yetersiz kama kullanılması, domuzdamından kaynaklanan hatalar, tahkimatın hasar görmesi veya sağlam olmaması ve tahkimat yetersizliği veya eksikliği olarak altı kök neden içinde incelenmiştir. Bu kök-nedenler arasında en önemlileri yetersiz kama kullanılması, tahkimat yetersizliği ve eksikliği ve uygun tahkimat malzemesinin seçilmemesi olarak bulunmuştur.

Tez çalışması kapsamında belirlenen bu ilk beş kök neden haricinde, tespit edilen diğer kök-nedenlerle ilgili literatürde yapılan çalışmalar da incelenmiştir. Düzgün, [31] Türkiye Taşkömürü Kurumunda 1986-2003 yılları arasında meydana gelen taş-kavlak düşmesi ve göçük kazalarının analizini yapmıştır. Bu çalışmada her madende meydana gelen göçük kazalarının istatistiksel analizi yapılmıştır. Göçük kazalarının istatistiksel normalleştirme analizi yapıldıktan sonra, kaza sonuçlarının maliyet analizleri hesaplanmıştır. Bu analizde temizlik, ekipman hasarı, üretimin durması veya etkilenmesi, yaralanma ve ölüm maliyetleri göz önünde bulundurulmuştur. Daha sonra göçük olma olasılığı ve bunun sonuç etkilerinin maliyetleri üzerinden ‘karar ağacı analizi’ uygulanmıştır. Çalışma sonucunda yeterli tahkimat iyileştirmeleri ve çalışanların farkındalıklarını arttırıcı çalışmalar yapılırsa ve bölgenin jeolojik koşullarının daha iyi anlaşılabilmesi için daha çok veri toplanırsa, her bir madende taş-kavlak düşmesi ve göçük kazası sayısında düşme gözleneceği tespit edilmiştir. Bu tez çalışması kapsamında uygulanan Hata Ağacı analizi Düzgün’ün [31] bulduğu sonuçlara benzer sonuçlar ortaya çıkarmıştır. Tahkimat iyileştirmeleri gerektiren nedenler hata ağacında mühendislik hatalarının altında, farkındalık arttırıcı çalışmalar gerektiren nedenler yönetsel hatalar ve çalışan hataları başlıklarının altında ve jeolojik koşullarla ilgili nedenler çevresel ve jeolojik nedenler başlığı altında değerlendirilmiştir. Göçük ve taş-kavlak düşmelerinin en önemli nedenleri İSG eğitimi ve pratik eğitimlerin yetersizliği olarak tespit edilmiştir. Bu olayların kazaların üzerindeki etkisi ise sırasıyla %72 ve %56 oranlarında bulunmuştur. Bu sonuç bu konuda farkındalık arttırıcı yollara gidilmesi gerektiğini göstermektedir.

Biswas ve Zipf [65] göçük ve taş-kavlak düşmesi gibi kazaların kök-nedenlerinin tespiti için ‘Taksonomi Analizi’ uygulayarak bir çalışma gerçekleştirmiştir. Bu çalışmada zemin çökmesinin iki şekilde; göçükler veya tavan veya ‘aynalardan/yanlardan’ düşen taş ve kavlaklar olarak gerçekleştiği belirtilmiştir. Bu kazaların oluşması için göçük veya taş kavlak düşmesi, tahkimat sistemindeki yetersizlikler ve çöken bölgede çalışan bulunması şeklindeki üç koşulun sağlanması gerektiği belirtilmiştir. Bu kapsamda ‘Taksonomik Analiz’ yöntemiyle ABD yeraltı kömür madenlerinde 1984-1999 yılları arasında meydana gelmiş olan 13 277 göçük ve taş/kavlak düşmesi kazalarının kök nedenlerini araştırarak, gelecekte bu kazaların önlenmesi için çözüm önerilerinde bulunulmuştur. Çalışma sonucunda, en yüksek yüzdeye sahip olan neden % 39,7 ile kaya kütlelerinin kopması olarak belirtilmiştir. Tahkimat sistemindeki bozulmaların alt nedenleri olarak yanlış veya yetersiz mesafeler, tahkimatların aralarında kalan bölgelerden taş-kavlak düşmeleri, yetersiz bakım ve yanlış kaya saplama uzunlukları olarak tespit edilmiştir. Son olarak insan faktörünün alt dallarına bakıldığında, kavlak düşürme, delik delme ve kaya saplama, tahkimat yapımı ve yükleme esnasında yapılan hatalar olarak tespit edilmiştir. Yapılan taksonomi analizinin gösterdiği zemin kontrolünün, tahkimatların ve uygulamadaki kontrol ve denetimlerin yetersiz olduğudur. Özellikle tahkimat yapımı, kavlak sökümlü/kavlak düşürme ve delik delme gibi işlerdeki eğitimlerin yeterliliğinin sağlanması ve farkındalığın artırılarak özellikle tecrübesiz çalışanların eğitimlerinin geliştirilmesi gerekliliği bu tez çalışmasının sonucunda da aynı şekilde tespit edilmiştir. Ancak insan hatasından kaynaklanan kazaların mühendislik veya yönetsel hatalarla bir etkileşim içinde olmadığı ve insan hatasından kaynaklanan kazaların %34,5’lik bir oranda görüldüğü belirtilmiştir. Oysaki bu %34,5’lik kısım tamamen insan hatasından kaynaklanmamakta, eğitimlerin yetersiz verilmesi, güvenlik kültürü oluşmaması ve tahkimat sistemleri dışındaki birtakım mühendislik hatalarından kaynaklandığının belirtilmesi gerekmektedir. Yapılan taksonomi analizi sonucunda, kazaların %40’a yakın kısmının nedeni ‘diğer zayıflıklar’ şeklinde tanımlanmış, yani taksonomi analizi bu kazaların nedenlerini sınıflandırmada başarılı olamamış, yalnızca %60’ının nedenlerinin belirlenmesinde etkili olmuştur. Bu tez çalışmasında ise yönetim-mühendislik-çalışan hataları jeolojik ve çevresel koşullarla bir arada göz önünde bulundurularak hata ağacında ona göre ilişkilendirilmiş ve hiçbir kazanın tek bir neden sebebiyle oluşmadığı üzerinde durulmuştur.

Merwe ve ark. [66] tarafından Güney Afrika madenlerinde gerçekleştirilen bir başka çalışmada, 182 göçük ve taş-kavlak düşmesi kazası incelenerek nedenleri araştırılmıştır. Bu araştırma sonunda, göçük çeşitlerinin kayanın yüzey kalınlığına göre değişiklik gösterdiği ve genellikle

gerçekleşen kazaların ince tabakalardan düşen taş-kavlak sebebiyle olduğu belirlenmiştir. Bu göçük ve taş-kavlak düşmeleri üç kategori altında incelenmiş olup bunlar; ince tabakalar şeklinde taş-kavlak düşmeleri, büyük kavlak düşmeleri ve göçüklerdir. Her bir kategorinin kendi nedenleri birbirinden farklıdır. Fakat genel olarak bu üç kategorinin ana nedenleri sırasıyla yetersiz tahkimat, tahkimatlar arasındaki mesafelerin yüksek oluşu, mühendislik hataları, sıcaklık ve nem, ikinci kalite malzeme kullanımı ve yatay gerilim olarak tespit edilmiştir. Bunlara ilave olarak göçük oluşumunun nedenleri arasında standartlara uyulmaması, kötü tahkimat tasarımı, tahkimat elemanlarının zayıf mukavemeti ve bilinmeyen gerilim rejimleri olarak sıralanmıştır. Bu tez çalışmasında da bu yetersizlikler mühendislik hataları başlığı altında tasarım hatası altındaki başlıklarda incelenmiştir. Analizler sonucunda Merwe ve ark. [66] çalışmalarına benzer şekilde %60 etkiyle yetersiz kama kullanılması, %59,7 etkiyle diğer tahkimatların yetersizliği veya eksikliği, %54 etkiyle uygun tahkimat malzemesinin seçilmemesi, %27,5 etkiyle tahkimatın hasar görmesi veya sağlam olmaması nedenlerinin taş-kavak düşmesi ve göçük olaylarının nedenleri olarak tespit edilmiştir.

Tez çalışması kapsamında hata ağacı analizinde gelişmemiş olay olarak değerlendirilen jeolojik ve çevresel koşulların göçük ve taş-kavlak düşmesine neden olmasıyla ilgili yapılan literatür çalışmaları incelendiğinde, Greenslade [35] yapmış olduğu çalışmada yeraltı sularının basıncı arttırarak göçüğe neden olduğu ve bunun dışında maden havasının sıcaklığını arttırarak nemi oluşturması ve taş-kavlak düşmesine neden olduğu, ocak duvarlarının stabilitesini bozduğu ve böylece taş-kavlak düşmesini tetiklediğini belirlemiştir. ABD Maden Güvenlik ve Sağlık Dairesinin (MSHA) [67] 2005 yılından beri sürdürmekte olduğu ‘Yeraltı Madenlerinde Taş-Kavlak Düşmelerini Önleme Programı’ kapsamında yeraltı kömür madenlerinde yüksek nemin taş-kavlak düşmelerine neden olduğu saptanmıştır. Aynı şekilde tez kapsamında seçilen işletmede de yaz aylarında göçük ve taş-kavlak düşmesinden kaynaklanan kazaların artış gösterdiği belirlenmiştir. Molinda ve Klemetti [36] ise mevsimsel nem artışının kayaçların ıslanıp kurummasına ve bu durumun kayaçların zayıflamasına ve böylece kazalara yol açtığını tespit etmişlerdir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Çalışmada 2000 – 2014 yılları arasında meydana gelen 12 ölümle ve 323 ağır yaralanmayla sonuçlanan toplam 335 göçük ve taş-kavlak düşmesi kazası değerlendirilmiş olup, bu analizin sonuçları aşağıda verilmektedir.

- Analiz sonucunda hata ağacındaki bu dört ana nedenin altında, 12 ara neden ve 42 kök neden tespit edilmiştir. Bu 42 kök-neden arasında ise 15 gelişmemiş olay, 27 temel olay tespit edilmiştir.
- Nitel analiz sonucunda kazalar üzerinde sayıca en fazla etkisi olan ilk beş temel olay;
 - İSG eğitimlerinin yetersizliği (%72),
 - Yetersiz kama kullanılması (%60),
 - Tahkimat yetersizliği veya eksikliği (%59,7),
 - Pratik eğitimlerin yetersiz olması (%55,52)
 - Uygun tahkimat malzemelerinin seçilmemesi (%54)olarak bulunmuştur.
- Nicel hata ağacı analizi sonucunda seçilen işletmede %59 ihtimalle işletmede 7 günde bir göçük veya taş-kavlak düşmesi nedeniyle kaza oluşması beklendiği tespit edilmiştir.
- Yapılan hata ağacı neticesinde işletmede 42 günde bir göçük veya taş-kavlak düşmesi nedeniyle ağır yaralanma veya ölümle sonuçlanan kazaların yaşanacağı belirlenmiştir.
- Yapılan analiz sonucunda nitel analizin yeterli olmadığı, nicel analizin daha kesin sonuçlar verdiği görülmüş ve bu doğrultuda yapılan nicel analizler sonucunda ortalama zaman olan 7 gün için göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarına en fazla neden olan ilk dört olay sırasıyla;
 - İSG eğitimlerinin yetersiz olması,
 - Pratik eğitimlerin yetersiz olması,
 - Tecrübesiz çalışanların tehlikeli görevlerde çalıştırılması,
 - Mevcut risk değerlendirmesinin yetersiz olması,olarak tespit edilmiştir.
- İşletmede göçük ve taş-kavlak oluşma ihtimali beklenen 42 günde göçük ve taş-kavlak düşmesine neden olan ilk dört olay ise sırasıyla;

- İSG eğitimlerinin yetersiz olması,
- Tecrübesizlik,
- Pratik eğitimlerin yetersiz olması,
- Kaza yatkınlığı,

olarak belirlenmiştir.

Tez çalışması kapsamında Hata Ağacı Analizi yöntemi kullanılarak göçük ve taş-kavlak düşmesine neden olan kök nedenlerin belirlenmesinin ardından literatür araştırmaları yapılarak bu nedenlere karşı koruyucu ve önleyici tedbirler belirlenmiştir. Yapılan araştırmalar sonucunda belirlenen bu nedenlere karşı aşağıdaki öneriler sunulmaktadır;

- Yapılan çalışmada, göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının yaşanmasının en önemli nedeninin İSG eğitimlerinin göçük veya taş-kavlak düşmeleri kazaları alanında yetersiz olması olarak bulunmuştur. İSG eğitimlerinin yetersizliğinden kaynaklı göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının önlenbilmesinin ilk yolu farkındalık eğitimlerinin artırılmasıdır. Bu konuda yaşanan göçük ve taş-kavlak düşmelerine karşı farkındalık oluşturmak amaçlı bilgilendirici eğitimler İSG eğitimlerine eklenebilir, broşürler hazırlanarak işyerlerine ve özellikle bu kazalarla karşılaşma ihtimali yüksek olan çalışanlara dağıtılabilir. Bu konuda örnek oluşturması amaçlı seçilen işletmede yaşanan göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarında farkındalığı arttırmak amaçlı bir broşür hazırlanmış ve Ek-1’de sunulmuştur. Bu konuda farkındalık artırıcı çalışmalar ve projeler yapılması, hem işverenlerin bu konuyu daha fazla önemsemesini sağlayacak, hem de çalışanların çalışma anında bu durumun daha fazla farkına vararak dikkat etmesini ve önemsemesini sağlayacaktır.
- İSG eğitimlerindeki ve pratik eğitimlerdeki yetersizliklerin bir diğer nedeni ise işverenin göçük ve taş-kavlak düşmeleriyle ilgili verdiği eğitim sürelerindeki yetersizlikler olarak değerlendirilebilir. Yapılan Hata Ağacı analizi sonucunda, en fazla hatanın İSG ve pratik eğitimlerdeki yetersizlikler olarak tespit edilmesi, seçilen işletmede bu konuda yetersizlikler olduğunu göstermekte, bu nedenle hem göçük ve taş-kavlak düşmeleriyle ilgili verilen eğitimlerin süresinin artırılması hem de göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarıyla ilgili içeriklerin yönetmeliğe uygun şekilde artırılması tavsiye edilmektedir.

- Hem İSG eğitimlerinin, hem de pratik eğitimlerin göçük ve taş-kavlak düşmesi kazaları özelinde iyileştirilebilmesi için bir diğer öneri ise, periyodik olarak çalışanlara kısa testler uygulamanın çalışanların bu konudaki farkındalığının artmasını sağlayabileceğidir. Böylece çalışanların mevcut bilgileri tazelenirken, konuyu devamlı olarak hatırlatmak, bu tip kazaların ne kadar önemli olduğunu vurgular ve aynı zamanda bilinçaltında bir yer edinerek bu konudaki farkındalık arttırılarak kazaların azaltılması sağlanabilir. Seçilen işletmede HAA sonucunda tespit edilen ortalama zaman olan 7 günde bir bu testler uygulanabilir ve bu sayede İSG eğitimlerinin ve pratik eğitimlerin yeterliliği arttırılabilir. Bu konuyla ilgili örnek oluşturması amacıyla bilgi ve farkındalık arttırıcı kısa test uygulama örnekleri Ek-2’de sunulmuştur.
- Yeraltı kömür madenciliği ile ilgili meslek standartlarının Mesleki Yeterlilik Kurumu tarafından oluşturularak, yeraltı taşkömürü madenciliğindeki pano-ayak üretim işçiliği, hazırlık işçiliği, tarama ve sökülme işçiliği, mekanizasyon ve pres işçiliği gibi özel görevlerin eğitimlerine göçük ve taş-kavlak düşmesi tehlikelerinin de eklenmesinin bu kazaların önlenmesinde etkili olacağı düşünülmektedir.
- Göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarına neden olan bir diğer olay ise tecrübesiz çalışanların tehlikeli görevlerde çalışması olarak tespit edilmiştir. Bu konuyla ilgili ilk olarak tehlikeli görevler tecrübesiz çalışanlara verilirken, yanlarında deneyimli çalışanlar olması ve deneyimli çalışanların gözetiminde bu görevleri yapmaları tavsiye edilmektedir. Bununla birlikte, kazalara daha yatkın olan az tecrübeli çalışanların yaptıkları işler de buna göre planlanmalıdır.
- Tecrübesiz çalışanların daha az kaza geçirmelerini sağlamaya yönelik yapılan araştırmalarda, yine eğitim faktörünün önemi vurgulanmaktadır. İşe yeni başlayan çalışanlara verilecek eğitimlerin özellikle geçirebilecekleri iş kazaları ve meslek hastalıkları konusunda detaylı olarak verilmesi gerektiği, çalışanlara verilen eğitimlerde yapacakları işi ve kullanacakları ekipmanları anlatmanın yanında, kazalardan nasıl korunacakları hakkında eğitim verilmesi gerektiği tavsiye edilmektedir.
- Göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarına neden olan bir diğer önemli olay ise risk değerlendirmesinin yetersiz olmasıdır. Risk değerlendirmesi incelendiğinde, mevcut değerlendirmenin yetersiz olduğu görülmüştür. İşletmedeki muhtemel tehlike ve

risklerin tespit edilmemesi bu kazaların önlenememesindeki en büyük etkenlerden biridir. Göçük ve taş-kavlak kazalarını önlemek için bu çalışmada kullanılan Hata Ağacı Analiziyle uygulanan risk değerlendirmesi referans olarak kullanılabilir.

- Taş-kavlak düşmelerinin önlemenin bir yolu da ‘mesh kafes tahkimat sistemleri (mesh cage support system)’ kullanımıdır. Bu sistem sayesinde çalışanlar tahkim edilmiş alanlarda herhangi bir kavlak düşme tehlikesi yaşamadan çalışabilmektedir. Çalışmanın yapıldığı işletmede de uygun yerlere çelik hasırlar yerleştirilerek çalışmaların sürdürülmesi tavsiye edilmektedir. Ancak çelik hasırların kullanılması için ilk olarak kaya saplaması sistemlerinin kullanılması gerekmektedir.
- Çalışma sonucunda denetimdeki yetersizliklerin gerek kavak kontrolleri, gerek tahkimat kontrolleri esnasındaki önemi tespit edilmiştir. Yetkili mühendis ve ustaların her vardiya ve sonunda gerekli denetimleri yapması, bununla birlikte çalışma esnasında da bütün çalışanların oluşabilecek göçük ve taş-kavlak düşmesine karşı tetikte olması ve çalışma alanını sık sık kontrol etmeleri gerekmektedir. Bu konuda yine gerekli bilgi ve eğitimlerin bütün çalışanlara periyodik olarak verilmesi önerilmektedir.
- Çalışma alanında kavlak kontrollerinde delik delme için kullanılan martopikörlerin eskiyen saplarının sivri uçlarının veya kullanılmayan uzun tahkimat malzemelerinin kullanıldığı görülmüştür. Kavlak düşürme ekipmanları yalnızca askıda kalan ve tehlike yaratan kavlakların düşürülmesi için kullanılmalı, ek herhangi bir tehlike oluşturmamalıdır. Bu konuyla ilgili çeşitli ülkelerde rehberler yayımlanmış, yeraltı madenlerinde kavlak düşürme prosedürleri ve cevherin ve kayaçların tipine uygun kullanılması gereken kavlak düşürme ekipmanları belirlenmiştir. Bu ve bunun gibi kaynaklardan yararlanılarak, uygun kavlak düşürme ekipmanları seçilerek temin edilmesi ve bu ekipmanların yalnızca kavlak düşürme amaçlı kullanılması önerilmektedir. Aynı zamanda bu ekipmanların kullanımı hakkında ilgili çalışanlara gerekli eğitimler verilerek ek bir tehlike oluşturmayacak şekilde kullanılmasının sağlanması önerilmektedir.
- Ayak yüksekliğinin fazla olması da hata ağacı analizinde tespit edilen bir diğer taş-kavlak düşmesi nedenli kaza yaşanması sebebidir. Ayak yüksekliğinin fazla olması durumunda taş-kavlak düşme ihtimali artmaktadır. Bu nedenle ayak yüksekliklerinin iki

metreyi geçmemesi veya yüksek olan ayaklarda iskele üzerinde çalışılması önerilmektedir. Bununla birlikte yüksek ayaklarda arın kaymasını önlemek için arın kapakları kullanılmalıdır.

Gelecekte yapılacak olan bu çalışma sonucunda yüksek ihtimalli çıkan olaylara karşı önlemler alınıp, yeniden bir analiz yapılarak, bu olayların ihtimallerinin düşmesinin kazaların beklenen oluşma gün sayılarını arttırıp arttırmadığı değerlendirilebilir. Bu tez çalışması, seçilen işletme gibi göçük ve taş-kavlak düşmesinin fazlaca yaşandığı diğer yeraltı taşkömürü madenlerinde uygulanacak çalışmalara bir referans kaynak olarak da kullanılabilir. Göçük ve taş-kavlak düşmesi kazaları araştırılarak kök-nedenlerinin tespit edilmesi sonucunda, gerekli teknik ve organizasyonel önlemlerin alınması, çalışanların eğitimi ve bilgilendirilmesi ile İSG kültürü oluşturulması kazaların oluşmasını önemli ölçüde azaltacaktır.

Bu tez çalışması ile seçilen yeraltı taşkömürü madeninde gerçekleşen göçük ve taş-kavlak düşmesi sebebiyle meydana gelen kazaların kök-nedenleri tespit edilerek, işyerinin riskler, konusunda bilgi edinmeleri sağlanmış, işletmedeki mühendis ve yöneticilerle fikir alışverişi yapılmış, yapılan tüm çalışmalar işletme ile paylaşılmıştır.

KAYNAKLAR

- [1] K. Oraee, N. Oraee-Mirzamani, A. Goodarzi, A Management System to Develop Occupational Health & Safety in Ground Control Operations of Underground Mines, *31st International Conference on Ground Control in Mining*, ss. 1–8, 2011.
- [2] Sosyal Güvenlik Kurumu, SGK İstatistik Yıllıkları, http://www.sgk.gov.tr/wps/portal/tr/kurumsal/istatistikler/sgk_istatistik_yilliklari (Erişim Tarihi: 10/01//2016).
- [3] T.C. Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı, Kömür, <http://www.enerji.gov.tr/tr-TR/Sayfalar/Komur> (Erişim Tarihi: 10/11/2015).
- [4] Türkiye Taşkömürü Kurumu, Taşkömürü Üretimi, <http://www.taskomuru.gov.tr/index.php?page=sayfagoster&id=25> (Erişim Tarihi: 12/11/2015).
- [5] İş Sağlığı Ve Güvenliğine İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfları Tebliği, Resmi Gazete Sayısı: 28509, T.C. Resmi Gazete, Ankara, (26/12/2012).
- [6] Vesely, W. E., Goldberg, F. F., Roberts N. H., Haasl, D. F., *Fault Tree Handbook* (Birinci Baskı), US Nuclear Regulatory Commission, Washington D. C., 1981.
- [7] Ericson, C. A., *Fault Tree Analysis*, Hazard Analysis Techniques for System Safety (Üçüncü Baskı), Wiley-Interscience, Sayfa: 183-221, 2005.
- [8] Ernst & Young, *Dünyada ve Türkiye ' de Madencilik Sektörü*, Sayfa: 1-33, 2011.
- [9] Uluslararası Çalışma Ofisi (ILO), *Yeraltı kömür madenlerinde güvenlik ve sağlık* (Birinci Baskı), ILO, Ankara, 2011.
- [10] Uluslararası Enerji Ajansı (IEA), *IEA Statistics - Coal Information*, Fransa, 2012.
- [11] Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Haritalar, <http://www.mta.gov.tr/v2.0/daire-baskanliklari/enerji/index.php?id=haritalar> (Erişim Tarihi: 10/01/2016).
- [12] Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK), İmtiyaz Alanı, <http://www.taskomuru.gov.tr/index.php?page=sayfagoster&id=14> (Erişim Tarihi: 12/11/2015).
- [13] Güney, M., *Zonguldak Kömür Ocaklarında Yeraltı Madencilik Faaliyetleri*, Orta Doğu Teknik Üniversitesi, Sayfa: 106-143, Ankara, 1966.
- [14] Maden İşleri Genel Müdürlüğü, Madencilik Terimleri Sözlüğü, <http://www.migem.gov.tr/sozluk/sozluk.html>. (Erişim Tarihi: 11/02/2016).
- [15] TTK Kozlu T.İ.M. Müdürlüğü, *Jackpotlu Tahkimat*, Türkiye Taşkömürü Kurumu, Zonguldak, 2014.

- [16] Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, Resmi Gazete Sayısı: 28770, T.C. Resmi Gazete, Ankara, (19/09/2013).
- [17] Arthur, J., Ground Control in Coal Mines in Great Britain, *Coal Operators' Conference*, University of Wollongong, Sayfa: 10–19, 2006.
- [18] Hoek, E. ve Brown, E. T., *Underground Excavations in Rock* (İkinci Baskı), The Institution of Mining and Metallurgy, Londra, 1982.
- [19] Kılıç, R. ve Ulaş, K., *Mühendislik Jeolojisi Uygulama Notları*, Ankara Üniversitesi, 2009.
- [20] T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı İş Teftiş Kurulu Başkanlığı, *Yeraltı ve Yerüstü Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Rehberi*, Ankara, 2010.
- [21] Yerlikaya, H., *Zonguldak Kömür Havzası Pratiğinde İş Güvenliği* (Birinci Baskı), Ziraat Grup A.Ş., Zonguldak, 2013.
- [22] Kaynak, S. Ö., *Madenlerde Emniyet*, Türkiye Taşkömürü Kurumu, Zonguldak, 2015.
- [23] Bureau of Labor Statistics, *Coal Mining Injuries, Illnesses, and Fatalities Fact Sheet and Charts*, Washington DC, 2007.
- [24] Lenne, T.M., Salmon, P. M., Liu, C. C., Trotter, M., A systems approach to accident causation in mining: An application of the HFACS method, *Accident Analysis and Prevention*, Sayı: 48, Sayfa: 111–117, 2012.
- [25] Margolis, K. Underground coal mining injury: A look at how age and experience relate to days lost from work following an injury, *Safety Science*, Sayı: 48, Sayfa: 417–421, 2010.
- [26] Sarı, M., Karpuz C., Selçuk, A. S., An International Comparison of Turkish Coal Mining Industry Safety Performance, *Mine Planning and Equipment Selection*, Sayfa: 917-922, 2001.
- [27] Mine Safety and Health Administration (MSHA), *Roof and Rib Control - Coal Miner's Handbook*, National Mine Health and Safety Academy, 2008.
- [28] Bauer, B. E. R. ve Dolinar, D. R., *Skin Failure of Roof and Rib and Support Techniques in Underground Coal Mines*, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH), Sayfa: 99-109, Pittsburgh, 1999.
- [29] Pappas, D. M., ve Mark, C., Roof and rib fall incident trends: a 10-year profile, *Transactions of the Society of Mining, Metallurgy and Exploration*, Sayı: 330, Sayfa: 462–478., Pittsburgh, 2012.
- [30] O Ontario Ministry of Labour, *Preventing Rock Falls and Bursts in Underground Mines*, http://www.labour.gov.on.ca/english/news/2013/bg_miningblitz20130927.php (Erişim Tarihi: 24.01.2016).

- [31] Düzgün, H. S. B., Analysis of roof fall hazards and risk assessment for Zonguldak coal basin underground mines, *International Journal of Coal Geology*, Sayı: 64, Sayfa: 104 - 115, Ankara, 2005.
- [32] Mines Occupational Safety and Health Advisory Board, *Surface Rock Support for Underground Mines - Code of Practice*, The Government of Western Australia, 1999.
- [33] Phillipson, S. E., The control of coal bed decollement-relate slickensides on roof falls in North American Late Paleozoic coal basins, *International Journal of Coal Geology*, Sayı: 53, Sayfa: 181–195, 2003.
- [34] Keim, K. S., ve Miller, M. S., Case study evaluation of geological influences impacting mining conditions at a West Virginia longwall mine, *International Journal of Coal Geology*, Sayı: 41, Sayfa: 51–71, 1999.
- [35] Greenslade, W. M., Yeraltı Madencilğinde Suatım Sorunları, *Mining Congress*, Sayfa: 44-47, 1975.
- [36] Molinda, G. M., ve Klemetti, T., Diagnosing and controlling moisture-sensitive roof in coal mines, *The Electronic Journal of Geotechnical Engineering (EJGE)*, Sayı: 13, 2008.
- [37] Hoek, E., *Kaya Mühendisliği* (Çeviri: Karakuş, M., Başarır H.) (Birinci Baskı), TMMOB Maden Mühendisleri Odası, Ankara, 2006.
- [38] İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, Resmi Gazete Sayısı: 28339, T.C. Resmi Gazete, Ankara, (30/06/2012).
- [39] Kişisel Koruyucu Donanımların İşyerlerinde Kullanılması Hakkında Yönetmelik, Resmi Gazete Sayısı: 28695, T.C. Resmi Gazete, Ankara, (02/07/2013).
- [40] Health and Safety Executive (HSE), *Human Factors in the Management of Major Accident Hazards Introduction to Human Factors*, Sayfa: 1–8, 2005.
- [41] İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği, Resmi Gazete Sayısı: 28512, T.C. Resmi Gazete, Ankara, (29/12/2012).
- [42] Patterson, J.M. ve Shappell, S. A., Operator error and system deficiencies: Analysis of 508 mining incidents and accidents from Queensland, Australia using HFACS, *Accident Analysis and Prevention*, Sayı: 42, Sayfa: 1379–1385, 2010.
- [43] Swuste, P., Van Gulijk, C., Zwaard, W., Safety metaphors and theories, a review of the occupational safety literature of the US, UK and The Netherlands, till the first part of the 20th century, *Safety Science*, Sayı: 48, Sayfa: 1000–1018, 2010.
- [44] Greenwood, H. M., Woods, M., *The Incidence of Industrial Accidents Upon Individuals*, Great Britain Industrial Fatigue Research Board, London, 1953.
- [45] İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, *Kas İskelet Sistemi Hastalıklarında Risk Değerlendirme Rehberi Hızlı Maruziyet Değerlendirme Yöntemi*, Çalışma ve Sosyal

- Güvenlik Bakanlığı, Ankara, 2007. [46] T. Waters, V. Putz-Anderson, and A. Garg, "Quick Guide for the NIOSH lifting equation." pp. 1–164, 1994.
- [47] Rodgers, S. H., *Rodgers Muscle Fatigue Analysis*, Thomas E. Bernard, Sayfa: 5–7, 2006.
- [48] Özkılıç, Ö., *Risk Değerlendirmesi* (Birinci Baskı), Türkiye İşveren Sendikaları Konfederasyonu, Ankara, 2014.
- [49] Reliasoft Corporation, *Life Data Analysis Reference*, ReliaSoft Corporation, 2015.
- [50] Gürdal, G. ve Yalçın, M. N., Pore volume and surface area of the Carboniferous coals from the Zonguldak basin (NW Turkey) and their variations with rank and maceral composition, *International Journal of Coal Geology*, Sayı: 48, Sayfa: 133–144, 2001
- [51] T.C. Sayıştay Başkanlığı, *Türkiye Taşkömürü Kurumu Üzülmüş Taşkömürü İşletme Müessesesi 2013 Yılı Denetim Raporu*, <http://www.sayistay.gov.tr/rapor/kit/2013/14-TTK%20%C3%9CZ%C3%9CLMEZ%202013.pdf> (Erişim Tarihi: 12/11/2015).
- [52] Türkiye Taşkömürü Kurumu (TTK), *Üzülmüş Taşkömürü İşletme Müessesesi* <http://www.taskomuru.gov.tr/index.php?page=sayfagoster&subpage=uzulmez&id=22> (Erişim Tarihi: 12/11/2015)..
- [53] Stamatelatos, M. ve Caraballo, J., *Fault Tree Handbook with Aerospace Applications* (Birinci Baskı), NASA Office of Safety and Mission Assurance, Washington DC, 2002.
- [54] Whitesitt, J. E., *Boolean Algebra and Its Applications* (Birinci Baskı), Courier Dover Publications, Mineola, New York, 1995.
- [55] Heinrich, H. W., Peterson, D., Roos, N., *Industrial Accident Prevention* (Beşinci Baskı), Mcgraw Hill, New York, 1980.
- [56] Health and Safety Executive (HSE), *Accident Aetiology Lecture Notes*, <http://www.hse.gov.uk/quarries/education/topic3.htm> (Erişim Tarihi: 12/10/2015).
- [57] Peterson, D., *Techniques of Safety Management* (İkinci Baskı), Mcgraw Hil, New York, 1978.
- [58] Robson, L. S., *Systematic literature review on the effectiveness of OHS training and education for the protection of workers*, Institute for Work and Health, Dresden, 2010.
- [59] Cohen, A. ve Colligan, M., J., *Assessing occupational safety and health training: A literature review*, National Institute for Occupational Safety and Health, Cincinnati, Ohio, 1998.
- [60] Burke, M. J., Salvador, R. O., Smith-Crowe, K. O., Chan-Serafin, S., Smith, A., Sonesh, S., The dread factor: how hazards and safety training influence learning and performance, *The Journal of Applied Psychology*, Sayı: 96, Sayfa: 46–70, 2011.
- [61] Kejriwal, B., *Safety in mines – a Survey of Accidents, their Causes and Prevention*, Lovely Prakashan, 2002.

- [62] Allanson, C., Strata Control in Underground Coal Mines: A Risk Management Perspective, *Coal Operators' Conference*, Sayfa: 135–153, 2002.
- [63] Laflamme, L. ve Menckel, E., Aging and occupational accidents: A review of the literature of the last three decades, *Safety Science*, Sayı: 21, Sayfa: 145–161, 1995.
- [64] Jiang, W., Qu, F., Zhang, L., Quantitative identification and analysis on hazard sources of roof fall accident in coal mine, *Procedia Engineering*, Sayı: 45, Sayfa: 83–88, 2012.
- [65] Biswas, K. ve Zipf, R. K., Root Causes Of Groundfall Related Incidents In U.S. Mining Industry, *22nd Intl Conf on Ground Control in Mining*, Sayfa: 335-343, 2003.
- [66] Van Der Merwe, J. N., Butcher, R., Canbulat, I., *Causes of Falls of Roof in South African Collieries*, Safety In Mines Research Advisory Committee, Sayfa: 1-117, 2001.
- [67] Mine Safety and Health Administration (MSHA), *Preventive Roof/Rib Outreach Program (PROP)* <http://www.msha.gov/s&hinfo/prop/prophome.htm> (Erişim Tarihi: 20/10/2015).

ÖZGEÇMİŞ

Kişisel Bilgiler

SOYADI, Adı : DİREK, Cansu
Doğum tarihi ve yeri : 23.06.1989, Ankara
Telefon : 0 (312) 257 16 90
E-Posta : cansu.direk@csgb.gov.tr



Eğitim

Derece	Okul	Mezuniyet tarihi
Yüksek Lisans	ODTÜ / İş Sağlığı ve Güvenliği Bölümü	Devam ediyor
Yüksek lisans	ODTÜ / Maden Mühendisliği	2015
Lisans	ODTÜ / Maden Mühendisliği	2011
Lise	Gazi Anadolu Lisesi	2006
İlköğretim	TED Ankara Koleji Vakfı Özel İlköğretim Okulu	2003

İş Deneyimi

Yıl	Yer	Görev
2012- (Halen)	Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı	İş Sağlığı ve Güvenliği Uzm. Yrd.

Yabancı Dil

İngilizce (YDS-2013:82,5)
Almanca (ODTÜ – A2)

Yayınlar

Gıda Üretim Endüstrisinde Toz Patlamaları - 7. İSG Konferansı Bildirisi

Mesleki İlgi Alanları

Risk değerlendirmesi, Hata Ağacı Analizi, Yeraltı kömür madenleri, Tahkimat sistemleri, İSG Yönetim Sistemleri, Endüstriyel toz patlamaları, Acil durum planları

Hobiler

Puzzle yapmak, Film seyretmek, Kitap okumak, Yüzmek, Voleybol oynamak, Seyahat etmek

EKLER

EK – 1: FARKINDALIK ARTTIRICI BROŞÜR

Türkiye'deki taşkömürü madenlerinde göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının en önemli nedenleri

- İSG eğitimlerinde göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının üzerinde yeteri kadar durulmaması
- Pratik eğitimlerde özellikle tahkimat yapım ve sökülme işleri ve kömür kazısı işlerinde göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarına karşı yeterli farkındalık oluşturulmadığı
- Eğitimlerde çalışanlara göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarının ağır sonuçlarının vurgulanmadığı
- Tecrübesiz çalışanların tehlikeli görevlerde çalıştırılması
- Mevcut risk değerlendirmelerinin yetersiz olması

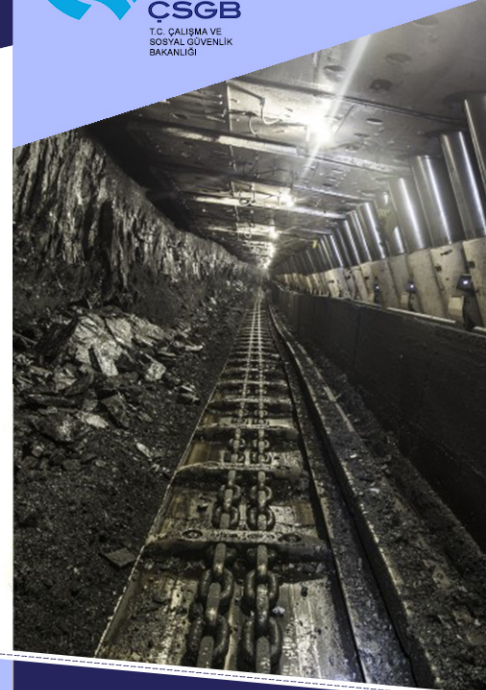


Güvenle
Büyü
Türkiye



T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı
İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü
İnönü Bulvarı No 42 I-Blok Kat:4 06100 Emek - Ankara
Telefon: 0312 296 60 00 - Faks: 0312 215 50 28

www.isggm.gov.tr
isggm@csgeb.gov.tr



Yeraltı Kömür Madenlerinde Göçük Ve Taş-Kavlak Düşmesi Kazalarından Korunma

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü

Yeraltı taşkömürü madenlerinde kazalar en fazla göçük ve taş-kavlak düşmeleri nedeniyle meydana gelmektedir.

Göçük ve Taş-Kavlak Düşmeleri Neden Oluyor?

Göçük ve taş-kavlak düşmesi koşulları madenden madene, hatta aynı maden için bölümden bölüme değişmektedir.

Kömür damarını çevreleyen tortul kayaç tipi maden tavanının dayanımını etkiler ve bu durumun diğer jeolojik süreksizliklerle birleşmesi madenlerde tavan ve yan duvarların kontrol edilmesini zorlaştıran en önemli etkenlerden biridir.

Her yeni kömür kazısı neticesinde yeni bölgeler açılmakta ve yeni potansiyel tehlikeler oluşmaktadır. Bu nedenle her madenin kendine özgü koşullarının olduğunun kabul edilmesi ve kazı ve tahkimat çalışmalarının buna göre yapılması gerekmektedir.

Maden işletilmeye başlamadan önce jeolojisi, kaya özellikleri, stresi, kontrol edilecek yüzeyin kapsamı, muhtemel arıza mekanizmaları, diğer çalışma alanlarının etkisi, çevresel etkenler ve geçmiş veriler gibi bilgiler göz önünde bulundurulmalıdır.



Göçük ve Taş-Kavlak Düşmesi Kazaları ile İlgili Önemli Bilgiler

- Yeraltı taşkömürü madenlerinde kazalar en fazla göçük ve taş-kavlak düşmeleri nedeniyle meydana gelmektedir.
- Yılda ortalama 1054 çalışan göçük ve taş-kavlak düşmeleri nedeniyle kaza geçirmektedir. Yeraltı taşkömürü madenlerinde yaşanan ölümlü kazaların % 41'i göçük ve taş-kavlak düşmesi nedeniyle meydana gelmektedir.
- En fazla göçük ve taş-kavlak düşmesi kazasını Pano-Ayak Üretim işçileri geçirmektedir. En fazla göçük ve taş-kavlak düşmesi kazası tahkimat yapım ve sökülme işlerinde yaşanmaktadır.
- En fazla göçük ve taş-kavlak düşmesi kazasını 2 yıl ve daha az tecrübesi olan çalışanlar geçirmektedir.

Göçük ve taş-kavlak düşmesi kazalarından korunabilmek için;

- Değişen tavan ve yan duvar koşullarına karşı her zaman tetikte ol
- Gerekli yerlere ek tahkimatlar uygula
- Tavan ve yan duvarların her işin başlangıcında görsel kontrolünü yap
- Jeolojik değişimlerin olduğu bölgelerde ek güvenlik önlemleri uygula
- Askıdaki kavlakları hemen düşür
- İşi olmayan çalışanların göçük ve taş-kavlak düşme ihtimali bulunan yerlere girmesini önle



EK – 2: KAZALARDAN KORUNMAYA KARŞI FARKINDALIK TESTLERİ

..... İşletmesinde Kazalardan Korunmaya Karşı Farkındalık Testi – 1	 İşletmesinde Kazalardan Korunmaya Karşı Farkındalık Testi – 2
1. Bu işletmede meydana gelen kazalar en fazla hangi nedenden dolayı meydana gelmektedir? a) Göçük ve taş-kavlak düşmeleri b) Yangın c) Patlama d) Nakliyat 2. Bu işletmede yaşanan kazaların yüzde ____'ı göçük ve taş-kavlak düşmeleri nedeniyle meydana gelmektedir? 3. Yılda ortalama kaç çalışan göçük ve taş-kavlak düşmesi nedeniyle yaralanmaktadır? a) 50'den az b) 100-150 c) 150-200 d) 200-250 4. Yeraltında maden tavanları ne zaman dengesiz konuma gelmektedir? a) patlatmadan sonra b) delik delme işleminden sonra c) kömür kazısından sonra d) Hepsi 5. Kavlak düşürme işlemleri tahkimatsız alanda yapılabilir. Doğru ____ Yanlış ____ 6. Askıda taş veya kavlak tespit edildiğinde derhal düşürülmeli veya yetkili bir kişiye haber verilmelidir. Doğru ____ Yanlış ____ 7. Kamalar arasında boşluk bırakılmaması taş-kavlak düşmeleri sonucunda yaralanmayı önler. Doğru ____ Yanlış ____	1. Patlatmalar göçük ve taş-kavlak düşmelerinin en önemli nedenlerinden biridir. Doğru ____ Yanlış ____ 2. Son 15 yılda kaç çalışan göçük ve taş-kavlak düşmesi nedeniyle hayatını kaybetmiştir? a) 2 b) 5 c) 8 d) 12 3. Son 15 yılda kaç çalışan göçük ve taş-kavlak düşmesi nedeniyle ağır şekilde yaralanmıştır? a) 100'den az b) 100-200 c) 200-300 d) 300'den fazla 4. Kavlak kontrolleri kullanılmayan martopikörlerin uçlarının sivriltilmesi suretiyle yapılabilir. Doğru ____ Yanlış ____ 5. Askıdaki kavlaklar ıkkatıldığında kof ses çıkarır. Doğru ____ Yanlış ____ 6. Görevi olmayan çalışanların göçük veya kavlak düşme ihtimali bulunan yerlere girmeleri önlenmelidir. Doğru ____ Yanlış ____ 7. Zemin koşullarının çalışanlara tehlike yaratabileceği durumlarda, taş ve kavlak düşmelerine karşı kontrol edilerek kavlaklar düşürülür veya o bölgeye uygun tahkimat yapılır. Doğru ____ Yanlış ____ 8. Arın kaymalarını önlemek için arın kapağı kullanılmalıdır. Doğru ____ Yanlış ____

Cevap: 1.a 2.%40 3.d 4.d 5.Yanlış 6.Doğru 7.d

Cevap: 1.Doğru 2.d 3.d 4.Yanlış 5.Doğru 6.Doğru 7.Doğru 8. Doğru