ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

DOKTORA TEZİ

Onur DOĞAN

İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

ADANA-2022

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI

Onur DOĞAN

DOKTORA TEZİ

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

Bu tez …/…/2022 Tarihinde Aşağıdaki Jüri Üyeleri Tarafından Oybirliği / Oyçokluğu ile Kabul Edilmiştir.

.....……..	……	……
Prof. Dr. Özen KILIÇ	Prof. Dr. Suphi URAL	Doç. Dr. Ali Ekrem ARITAN
DANIŞMAN	ÜYE	ÜYE
…….....	……..……	
Doç. Dr. Dilek GÖKTÜRK	Dr. Öğr.Üyesi M. Özgür KESKİN	
ÜYE	ÜYE	

Bu tez Enstitümüz İş Sağlığı ve Güvenliği Anabilim Dalında hazırlanmıştır.
Kod No:

Prof. Dr. Sadık DİNÇER
Enstitü Müdürü

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaktan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak gösterilmeden kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir

ÖZ

DOKTORA TEZİ

İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN ENDÜSTRİ 4.0 UYGULAMALARI

Onur DOĞAN

ÇUKUROVA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ANABİLİM DALI

Danışman : Prof. Dr. Özen KILIÇ
Yıl: 2022, Sayfa: 305
Jüri : Prof. Dr. Suphi URAL
: Prof. Dr. Özen KILIÇ
: Doç. Dr. Ali Ekrem ARITAN
: Doç.Dr. Dilek GÖKTÜRK
: Dr. Öğr. Üyesi M. Özgür KESKİN

Bu tez çalışmasında, bir yeraltı maden işletmesinde iş güvenliği açısından Endüstri 4.0 uygulamaları araştırılmıştır. Çalışma üç temel aşamadan oluşmaktadır. İlk aşamada; işletmede kullanılan ve Endüstri 4.0 kapsamında olduğu değerlendirilen makinaların-ekipmanların çalışma prensipleri ve iş güvenliği açısından etkileri incelenmiştir. İkinci aşamada, işletmenin yeraltı madencilik faaliyetlerinde iş kazalarının ortaya çıkmasına sebep olan hususların tespit edilmesine yönelik Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) yöntemi uygulanmıştır. Yapılan yöntemde Karar Matrisi (CR<0,1 tutarlılık indeksi) 0.0468<0,1 değeri elde edilmiş ve sonuç tutarlı bulunmuştur. Bu sonuca göre; iş kazalarının kök nedenleri şu şekilde sıralanmıştır; K5 (Malzeme Düşmesi), bunu sırası ile K4(Aşırı Özgüven), K1(Dikkatsizlik), K3(Makine Kullanımı) ve K2 (Bakım Onarım) takip etmiştir. Son olarak iş güvenliği açısından Endüstri 4.0 uygulamalarının çalışanlar açısından farkındalıklarını ölçmeye yönelik nicel bir araştırma yapılmıştır. Araştırma sonucunda, Endüstri 4.0 teknolojilerinin etkileri, pozitif yönleri, sorunları ve çözüm önerilerini de içeren hususlar belirlenmeye çalışılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Endüstri 4.0, Otomasyon, Madenlerde İş Güvenliği, Analitik Hiyerarşi Proses (AHP), İş Kazalarının Nedenleri

ABSTRACT

PhD THESIS

INDUSTRY 4.0 APPLICATIONS IN TERMS OF WORK SAFETY

Onur DOĞAN

ÇUKUROVA UNIVERSITY
INSTITUTE OF NATURAL AND APPLIED SCIENCES
DEPARTMENT OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY

Supervisor : Prof. Dr. Özen KILIÇ
Year: 2022, Pages: 305
Jury : Prof. Dr. Suphi URAL
: Prof. Dr. Özen KILIÇ
: Assoc. Prof. Dr. Ali Ekrem ARITAN
: Assoc. Prof. Dr. Dilek GÖKTÜRK
: Asst. Prof. Dr. M. Özgür KESKİN

In this thesis, Industry 4.0 applications were investigated in terms of occupational safety in an underground mining operation. The study consists of three main stages. First stage; The effects of the machines-equipment used in the enterprise and considered to be within the scope of Industry 4.0 in terms of working principles and occupational safety were examined. In the second stage, the Analytical Hierarchy Process (AHP) method was applied to determine the issues that caused the occurrence of work accidents in the underground mining activities of the enterprise. In the method used, the Decision Matrix (CR<0.1 consistency index) value of 0.0468<0.1 was obtained and the result was found to be consistent. According to this result, The root causes of work accidents are listed as follows; K5 (Material Falling), followed by K4 (Excessive Confidence), K1 (Carelessness), K3 (Machinery Use) and K2 (Maintenance and Repair). Finally, quantitative research was conducted to measure the awareness of the employees of Industry 4.0 applications in terms of occupational safety. As a result of the research, the effects, positive aspects, problems and solution suggestions of Industry 4.0 technologies were tried to be determined.

Keywords: Industry 4.0, Automation, Occupational Safety in Mines, Analytical Hierarchy Process (AHP), Causes of Work Accidents

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET

Madenler, varlığının keşfedilmesi ve günlük hayatta kullanılabilir şekilde evrilmesi ile yüzyıllardır insanoğlunun uğraşı alanlarından bir tanesi olmuştur. Madenler, doğada nadir ve saf halde bulunur. Madencilik ise, madenlerin elde edilmesinden nihai ürüne dönüşmesine kadar çok zorlu ve bir o kadar tehlikeli süreci içinde barındıran bir iş koludur. Eski dönemlerde madencilik faaliyetleri çoğunlukla işgücüne dayalı yapılmaktaydı. Bu durum çalışanların iş kazasına ve meslek hastalığına yakalanmalarına neden olmuştur. Günümüz dünyasında ise, Endüstri 4.0 kapsamında otomasyon, dijitalleşme, sinyalizasyon, yapay zekâ gibi teknolojiler sanayide kullanılmaya başlanmıştır. Bilgi ve tecrübenin teknolojiye dönüşmesi ile iş gücüne olan gereksinim de boyut değiştirmeye başlamıştır. Bu süreçte daha yetkin ve alanında uzman kişilerin sanayide istihdamın artması ile gelenekçi üretim yöntemini benimseyen çalışanlara nazaran daha baskın hale gelmiştir. Ancak geliştirilen teknolojilerin çok fonksiyonlu ve bir o kadar karmaşık yapıda olması gelecekte beklenmedik risklerin ortaya çıkmasına neden olabileceği düşünülmektedir. Bu nedenle üretim süreçlerine dahil edilen ileri teknolojik sistemlerin sanayiye entegre edilmesi ve beraberinde getirebileceği risklerin iyi analiz edilmesi analitik bir düşünce yapısının geliştirilmesi ile sağlanabilir.

Bu tez çalışması çok tehlikeli işkollarından ve madenciliğin alt dallarından olan bir yeraltı metal maden işletmesinde yapılmıştır. Lokasyon olarak Gümüşhane il sınırları içinde bulunan bir yeraltı metal madeni seçilmiştir. Çalışmada Endüstri 4.0 uygulamalarının çalışan sağlığı ve güvenliğine etkisi araştırılmıştır. Yapılan çalışmada doğru ve objektif sonuçlar elde edebilmek amacıyla üç aşamadan oluşturulmuştur. Çalışmada kullanılan veriler ve elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenmiştir:

İşletmede kullanılan otomasyon makine, ekipman ve bağlantılı sistemlerin (Pause, Hava kapıları, RTLS, Gaz Takip Sistemleri, Fanlar, GeoSight CMS, Total Station, Göz Tarama Sistemleri, Simba ve Yeraltı Patlatma Sistemi) çalışma prensipleri, iş verimliliği ve iş güvenliği açısından etkisi incelenmiştir. Yapılan çalışma sonucunda elde edilen verilere göre; işletmenin otomasyon ağırlıklı üretime geçiş sürecinde olduğu, bu durumun üretim miktarını ve çalışan sayısını olumlu etkilediği, ancak iş kazasında beklenen düşüşün beklenilen oranda azalmadığı tespit edilmiştir.

İşletmede iş kazalarının ortaya çıkmasına neden olan hususların tespiti ve kök nedenlerin ortaya çıkmasına yönelik Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi uygulanmıştır. AHP yöntemi, tutarlılığının test edilebilmesine imkân vermesinden dolayı diğer Çok kriterli karar verme yöntemlerine göre daha fazla güven vermektedir. Elde edilen sonucun yani karar matrisinin tutarlı olabilmesi elde edilen sonucun CR <0,1 olması gerekmektedir. Yapılan çalışma sonucunda ise bu oran 0.0468 <0,1 ve sonuç tutarlı bulunmuştur. İş kazalarının ortaya çıkmasına sebep olan en önemli hususlar şu şekilde sıralanmıştır; K5 (Malzeme Düşmesi), bunu sırası ile K4 (Aşırı Özgüven), K1 (Dikkatsizlik), K3 (Makine Kullanımı) ve K2 (Bakım Onarım) takip etmiştir.

Son olarak çalışmanın daha geniş kapsamlı ele alınması ve doğru verilere ulaşılabilmesi için işletmenin yeraltı çalışanlarına yönelik 29 sorudan oluşan anket çalışması uygulanmıştır. Çalışmada katılımcıların Endüstri 4.0 ileri teknolojik uygulamalarına yönelik algı seviyelerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışma genel olarak değerlendirildiğinde; katılımcıların %60'ı Endüstri 4.0 hakkında yetkin çalışan olmadığını, %53'ü Endüstri 4.0 hakkında bilgi sahibi olmadığını, %60,6'sı Endüstri 4.0 ile işsizlikte artış yaşanacağını, %68,8'i ise iş sağlığı ve güvenliğinin olumlu yönde etkileyeceğini belirtmiştir.

TEŞEKKÜR

Doktora çalışmamın her aşamasında yardımlarını esirgemeyen, bilim insanı olarak benim için model teşkil eden, yapıcı ve yönlendirici fikirleri ile bana daima yol gösteren danışman hocam Sayın Prof. Dr. Özen KILIÇ'a sonsuz teşekkürlerimi sunarım.

Doktora Tez İzleme Komitesi üyesi hocalarım Sayın Prof. Dr. Suphi URAL'a, Dr. Öğr. Üyesi M. Özgür KESKİN'e ve MTAIC Genel Müdürü Sayın Prof. Dr. Ahmet Mahmut KILIÇ hocama çalışmamın tüm aşamalarında yönlendirici ve olumlu katkılarından dolayı teşekkür ederim.

Çalışmalarımı gerçekleştirmeme destek olan İşletme Müdürü Sayın Korhan ÇUBUKÇU'ya, İş Güvenlik Birim Şefi Erdem ENÖN'e ve İşletme Başmühendisi Nazım ERKOÇ'a desteklerinden dolayı teşekkür ederim.

Doktora çalışmalarım sırasında benden desteğini ve sabrını hiç esirgemeyen eşim Merve DOĞAN'a, Ağabeyim Uğur DOĞAN'a eğitim ve öğretim hayatım boyunca maddi ve manevi olarak beni her zaman destekleyen aileme en içten sevgilerimi sunarım.

İÇİNDEKİLER **SAYFA**

ÖZ I
ABSTRACT II
GENİŞLETİLMİŞ ÖZET III
TEŞEKKÜR V
İÇİNDEKİLER VI
ÇİZELGELER DİZİNİ X
ŞEKİLLER DİZİNİ XIV
SİMGELER VE KISALTMALAR XVIII
1. GİRİŞ 1
1.1. Çalışmanın Amacı 2
1.2. İş Sağlığı ve Güvenliği Kavramı 3
1.2.1. İş Sağlığı ve Güvenliğinin Amacı ve Önemi 4
1.2.2. İş Sağlığı ve Güvenliğinde Teknoloji Kullanımının Tarihsel Gelişimi 5
1.3. İş Sağlığı ve Güvenliğinin Hukuki Dayanakları 9
1.3.1. İş Sağlığı ve Güvenliğinin Uluslararası Hukuki Dayanakları 12
1.3.2. Türkiye'nin İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Onayladığı ILO Sözleşmeleri 13
1.4. İş Güvenliği Yönetim Sistemi 15
1.5. Güvenlik Kültürü ve Güvenlik İklimi 16
1.6. İş Kazaları ve Nedenleri 17
2. ENDÜSTRİ 4.0 21
2.1. Endüstri 4.0 Kavramı 21
2.2. Endüstri 4.0 Kavramının Ortaya Çıkışı 22
2.3. Endüstri 4.0'ın Genel Prensipleri 24
2.4. Endüstri 4.0 Kapsamındaki Önemli Teknolojiler 30

2.5. Endüstri 4.0'ın Uygulandığı Alanlar 31
2.6. Endüstri 4.0'ın Geleceği ve Etkileri 32
2.7. Ülkemizde ve Bazı Ülkelerde Endüstri 4.0'a Yönelik Yapılan Hazırlıklar 32
2.8. Endüstri 4.0'ın İş Güvenlik Boyutu 38
2.9. Endüstri 4.0 ve Madencilik Teknolojileri 39
2.10. Endüstri 4.0 Kapsamında Yol Haritaları 45
3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR 47
4. MATERYAL VE METOT 57
4.1. Materyal 57
4.1.1. Çalışma Sahası 57
4.1.2. Çalışma Sahasının Tarihi ve Jeolojik Yapısı 60
4.1.3. İşletme Yeraltı Çalışma Döngüsü 72
4.1.4. Yeraltı İşletmesinde Kullanılan Üretim Yöntemleri 77
4.1.4.1. Dolgulu Yöntem 79
4.1.4.2. Arakatlı Göçertmeli Yöntem 81
4.1.5. Acil Durum Planlama 85
4.1.6. AHP Yöntemi 90
4.1.6.1. AHP Yönteminde Uygulanması Gereken Adımlar 97
4.1.7. Çalışanların Endüstri 4.0'a Yönelik Algı Seviyelerinin Ölçülmesi 98
4.2. Metot 99
4.2.1. Endüstri 4.0 Kapsamında İşletmede Kullanılan Teknolojiler 100
4.2.1.1. Yeraltı Bağlantı Sistemi 100
4.2.1.2. Gerçek Zamanlı Takip Sistemi (RTLS) 101
4.2.1.3. Yeraltı Otonom Kapılar 107
4.2.1.4. Ocak Fanları ve Takip Sistemi 113
4.2.1.5. Sabit Gaz Ölçüm Sistemi 120

4.2.1.6. Otonom Teknolojisi ve Ekipman Takibi/Yönetimi 122
4.2.1.7. Pause 124
4.2.1.8. GeoSight CMS 127
4.2.1.9. Yeraltı Madenciliğinde Haritalama 128
4.2.1.10. Total Station 129
4.2.1.11. Simba 131
4.2.1.12. Yeraltı Patlatma Sistemi 132
4.2.1.13. Yaşam Odaları ve Acil Çıkış Noktalarının Mesafesi 139
4.2.1.14. Acil Durum Planı 146
4.2.1.15. Diğer İş Güvenlik Uygulamaları 149
4.2.2. Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi 151
4.2.3. Çalışanların Endüstri 4.0'a Yönelik Algı Seviyelerinin Ölçülmesi 157
5. ARAŞTIRMA BULGULARI 161
5.1. İşletmede Bağlantılı Cihazlar ve Sistemin Topolojisi 161
5.1.1. Otomasyon Sistemlerin İş Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi 165
5.2. İşletmeler İçin Endüstri 4.0 Yol Haritasının Oluşturulması 180
5.3. AHP Yönteminden Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi 184
5.4. Endüstri 4.0 ile İlgili Çalışanlara Yapılan Anket Çalışmasının Değerlendirilmesi 199
6. SONUÇ VE ÖNERİLER 215
KAYNAKLAR 235
ÖZGEÇMİŞ 263
EKLER 264

ÇİZELGELER DİZİNİ **SAYFA**

Çizelge 1.1. Madencilik Sektöründe Mesleki Yeterlilik Belgesi Zorunluluğu Getirilen Çalışma Alan Kodları 10
Çizelge 1.2. 1990-2020 Yıllarına Ait Maden İş Kazaları ve Ölüm Oranları 11
Çizelge 2.1. True Pozitive (TP), False Pozitive (FP), False Negative (FN), True Negative (TN) değerlerlerin hesaplanması 26
Çizelge 2.2. Endüstri 4.0 Kapsamında Önemli Teknolojiler 30
Çizelge 2.3. Endüstri 4.0 ve Kullanım Alanları 31
Çizelge 2.4. Yeni Sanayi Devrimi: Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası 33
Çizelge 2.5. Dijital Dönüşüm Yol Haritası 45
Çizelge 4.1. İşletmenin 2009-2021 Yıllarına ait Galeri İlerlemesi 59
Çizelge 4.2. İşletmede Üretim Yapılan Galeriler 60
Çizelge 4.3. Kaya Kütlelelerinin Bozuşma Dereceleriyle İlgili Sınıflama 67
Çizelge 4.4. Kaya Kütleleri İçin Su Sızıntılarını Sınıflama ve Tanımlama Ölçütleri 67
Çizelge 4.5. Hacimsel Eklem Sayısına (J_v) Göre Blok Boyutu Tanımlaması 67
Çizelge 4.6. Kayaç Kalitesine (RQD'ye) Göre Sınıflandırma 68
Çizelge 4.7. RMR (Rock Mass Rating) Sınıflama Sistemine Göre Puan Hesabı 68
Çizelge 4.8. RMR Sınıflama Sistemi 68
Çizelge 4.9. Destek Sisteminin Seçimi İçin Belirlenen Parametreler Ve Destek Seçiminin De'ye Göre Belirlenmesi 69
Çizelge 4.10. İşletme Çalışan Sayısı ve Branş Dağılımları 74
Çizelge 4.11. Deprem Anında Yapılması Gerekli Acil Durum Eylem Planı (Kılıç ve ark. 2016) 90

Çizelge 4.12. AHP İkili Karşılaştırmalarda Kullanılan Göreli Önem Ölçeği 95
Çizelge 4.13. Gaz İzleme Sensörlerinin Özellikleri (İnhedrom) 122
Çizelge 4.14. İkili Karşılaştırmalarda Kullanılan Göreli Önem Ölçeği 152
Çizelge 4.15. Kriterlerin İkili Karşılaştırması 153
Çizelge 4.16. Kriterler İçin İkili Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması 154
Çizelge 4.17. Rastgele İndeks 156
Çizelge 5.1. İşletmede Pandemiye (Covid-19) Karşı Alınan Tedbirler..... 178
Çizelge 5.2. İşletmenin Yıllara Göre Kaza Sayısı, Çalışan Sayısı ve Tonaj Miktarı..... 179
Çizelge 5.3. İkili Karşılaştırmada Kullanılan Ölçüt 186
Çizelge 5.4. Kriterler İçin İkili Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması..... 187
Çizelge 5.5. Normalize Edilmiş Matris 187
Çizelge 5.6. Tüm Öncelikler Vektör Hesabı 188
Çizelge 5.7. Tutarlılık İndeksi 188
Çizelge 5.8. Rastgele İndeksi 189
Çizelge 5.9. Yeraltı Madencilik Faaliyetlerinde Kazaların Uzmanlar Tarafından Belirtilen Sıklıkları 195
Çizelge 5.10. Çalışanların Demografik Bilgileri 199
Çizelge 5.11. Katılımcıların Eşlerinin Çalışıp Çalışmadığı, Eğitim Durumları ve Mesleklerini Yapma Sürelerine Ait Bilgiler 200
Çizelge 5.12. Katılımcıların İşyerindeki Pozisyonları ve Farklı Meslek Alanlarında Çalışmalarına Ait Bilgiler..... 201
Çizelge 5.13. Çalışanların Yapmakta Oldukları İşin Yapısı Gereği Ne Tür Riskler Barındırdığına Ait Bilgiler..... 201
Çizelge 5.14. Çalışanların İş Kazası ve Meslek Hastalığı Hakkında Bilgilerinin Olup Olmadığına Dair Bilgiler 202
Çizelge 5.15. Çalışanların Mevcut İşyerlerinde ve İş Hayatında İş Kazası Geçirip Geçirmediğine Ait Bilgiler..... 202

Çizelge 5.16. Çalışanların İş Hayatlarında Meslek Hastalığı Geçirip Geçirmediğine Ait Bilgiler 203
Çizelge 5.17. Çalışanların İşyerinde Ramak Kala Olayına Tanık Olup Olmadığına Ait Bilgiler 204
Çizelge 5.18. İş Kazasının Ortaya Çıkmasına Neden Olan En Önemli Husus/Hususlara Ait Bilgiler 204
Çizelge 5.19. Çalışanların Bilişim Teknolojilerine Yönelik Bilgi Düzeylerine Ait Bilgiler 205
Çizelge 5.20. Çalışanların İşyerlerinde Otomasyon Sistemlerin Entegrasyonu Hakkında Bilgi Sahibi Olup Olmadıklarına Ait Bilgiler 205
Çizelge 5.21. Çalışanlara Mevcut İşyerlerinde Endüstri 4.0 Farkındalık Eğitimlerinin Verilip Verilmediğine Ait Bilgiler 206
Çizelge 5.22. Çalışanların Endüstri 4.0 Hakkında Bilgi Sahibi Olup Olmadıklarına Ait Bilgiler 206
Çizelge 5.23. Endüstri 4.0 yada Otonom Sistemlere Geçişte Yaşanabilecek En Önemli Sorunlara Ait Bilgiler 207
Çizelge 5.24. Çalışanların İşyerlerinde Endüstri 4.0 Kapsamında Hazırlanmış İş Planı Hakkında Bilgilerinin Olup Olmadığına Ait Bilgiler 208
Çizelge 5.25. İşyerinde Endüstri 4.0 Güncel Teknolojik Ekipmanları Kullanabilecek Yetkinliğe Sahip Teknik Personel Olup Olmadığına Ait Bilgiler 208
Çizelge 5.26. Endüstri 4.0 Uygulamaların Avantajlarına Ait Bilgiler 209
Çizelge 5.27. Endüstri 4.0 Uygulamaların Dezavantajlarına Ait Bilgiler 210
Çizelge 5.28. Endüstri 4.0 veya Güncel Teknolojik Uygulamaların Üretim Süreçlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Risk Oluşturup Oluşturmadığına Ait Bilgiler 211

Çizelge 5.29. Endüstri 4.0 ve Otomasyon Sistemine Geçişte Yaşanabilecek İş Sağlığı ve Güvenliği Sorunların Kaynaklarına Ait Bilgiler 211
Çizelge 5.30. Endüstri 4.0 Kapsamında Üretim Sürecine Dahil Olan Ekipmanların Tehlike Boyutuna Ait Bilgiler 212
Çizelge 5.31. Endüstri 4.0'ın Üretim Sürecinde İş Güvenliğine Ait Bilgiler.... 213

ŞEKİLLER DİZİNİ **SAYFA**

Şekil 2.1. Geçmişten Günümüze Sanayi Devrimlerinin Kronolojisi 23
Şekil 2.2. Endüstri 4.0 Prensipleri 25
Şekil 2.3. Kesişim durumunda FN, FP ve TP değerlerin hesaplanması 27
Şekil 2.4. Endüstri 4.0 Gelişimi 33
Şekil 2.5. Dünya'da ve Türkiye'de Dijital Dönüşüm 35
Şekil 2.6. Türkiye'de Dijital Teknolojilerin Üretime Entegrasyonu. 37
Şekil 2.7. Madencilik Sektörüne Entegre Edilen Bazı Endüstri 4.0 Uygulamaları 39
Şekil 2.8. Robot Algılamasında Yapılan Eylemlerin ve Ölçümlerin Sırası. 44
Şekil 4.1. İşletmenin Yer Bulduru Haritası 58
Şekil 4.2. Çalışma Alanın Google Earth Görüntüsü 58
Şekil 4.3. İşletmenin Yeraltı ve Yerüstü Sondaj Delgileri 59
Şekil 4.4. Çalışma Bölgesinin Jeoloji 62
Şekil 4.5. İşletme Bakır-Kurşun-Çinko Ruhsat Sahasının Jeolojik Haritası 63
Şekil 4.6. İşletme Kayaç Sınıflaması 65
Şekil 4.7. İşletmenin Yeraltı Çalışma Döngüsü 75
Şekil 4.8. İşletmenin Yeraltı Üretim Sürecinde Kullanılan Yer Altı Kazıcı-Yükleyiciler 78
Şekil 4.9. Yeraltı İşletmesinin Üç Boyutlu Ekran Görünümü 79
Şekil 4.10. Yatay Dilimli Dolgulu Yöntem 80
Şekil 4.11. Dolgu Yapılmış Bir Galeri ve Hazine Mağara Yeraltı Dolgulu Üretim Yönteminin Üç Boyutlu Ekran Görünümü 81
Şekil 4.12. Ara Katlı Göçertmeli Üretim Yöntemi 82
Şekil 4.13. Ara Katlı Kazı Üretim Yönteminin Perspektif Görünümü 83
Şekil 4.14. Hazine Mağara Yeraltı Ara Katlı Göçertmeli Üretim Yöntem 84
Şekil 4.15. 1310-1330 Katı Acil Kaçış Haritası 87

Şekil 4.16 Gümüşhane ve Civarı için Ana Tektonik Yapı. 88
Şekil 4.17. İşletmenin Bulunduğu Bölgenin Deprem Derecesi 89
Şekil 4.18. Karar Analizi Tekniklerinin Sınıflandırması. 91
Şekil 4.19. Üç Seviyeli AHP Modeli 93
Şekil 4.20. Analitik Hiyerarşi Proses Yönteminin Çözüm Akış Şeması 94
Şekil 4.21. Klasik RFID Sisteminin Mimarisi 102
Şekil 4.22. Personel Takip Cihazı (Tag) 105
Şekil 4.23. Personel Takip Sistemi Ekran Görünümü 106
Şekil 4.24. İşletme Manuel Kapılar 107
Şekil 4.25. İşletmenin Ocak Giriş/Çıkış Kapısı 108
Şekil 4.26. Ocak Hava Kapısı Kapalı 109
Şekil 4.27. Ocak Hava Kapısı Açık 110
Şekil 4.28. Hava Kapılarının Manuel Kullanımı 111
Şekil 4.29. Hava Kapılarının Kapalı Konumdan Açık Hale Getirilmesi 111
Şekil 4.30. Hava Kapılarının Manuel Açılması 112
Şekil 4.31. Emici Fan (315KW) ve Yedek Fan(90KW) 114
Şekil 4.32. Üfleyici Fan (75KW) 114
Şekil 4.33. Ocak İçi Fan Sisteminin Ana Sunucuda Takibinin Ekran Görünümü 115
Şekil 4.34. Temiz Hava Girişi (Üfleyici) ve Kirli Hava Çıkışı (Emici Fan) 116
Şekil 4.35. Akıllı Fan Sistem Ana Ekranı 117
Şekil 4.36. Ana Emici Fan Çalışma Ekran Görünümü 118
Şekil 4.37. Ana Fanının Çeşitli Modlarına Ait Ekran Görünümü 119
Şekil 4.38. Sabit Gaz İzleme Sistemi 121
Şekil 4.39. Tam Otonom Bir Açık Ocak İşletmesinde Kullanılan Tasarım Parametreleri 124
Şekil 4.40. Pause 126
Şekil 4.41. Pausun Genel Özellikleri 126

Şekil 4.42. GeoSight CMS 127
Şekil 4.43. GeoSight ile Galeri ve Tavan İmalatlar 128
Şekil 4.44. Yaşam Hattı (RG) 129
Şekil 4.45. Total Station 130
Şekil 4.46. Jumbo ve Simba Deliciler 131
Şekil 4.47. Emülite Tipi Dinamitler, Exel Kapsüller ve Anfo 133
Şekil 4.48. İnfilaklı Fitil, Elektrikli Kapsül 134
Şekil 4.49. Ayna Delik Tasarımı 135
Şekil 4.50. Elektronik Kapsül 136
Şekil 4.51. Zil Teli 137
Şekil 4.52. Logger ve Blaster 137
Şekil 4.53. Yeraltı Patlayıcı Madde Depo Girişi 138
Şekil 4.54. Patlayıcı Deposu 139
Şekil 4.55. Ocak İçi Riskli ve Güvenli Alanlar 141
Şekil 4.56. Yaşam Odaları 142
Şekil 4.57. 1 Nolu Yaşam Odası 143
Şekil 4.58. 2 Nolu Yaşam Odası 144
Şekil 4.59. 3 Nolu Yaşam Odası 145
Şekil 4.60. Pandemi Kapsamında Alınan Tedbirler 147
Şekil 4.61. Yeraltı Alarm Panosu ve Yürüstünde Bulunan Kumanda Odası 149
Şekil 4.62. Üretimi Biten Alanların Güvenli Hale Getirilmesi 150
Şekil 4.63. Damper Korkuluğu 151
Şekil 5.1. Yeraltı Sistemleri Ağ Yapısı ve Teknik Özellikleri 162
Şekil 5.2. İşletmenin Bağlantılı Olduğu Sistemler 163
Şekil 5.3. İnternet Tabanlı ve Lokal Tabanlı Ağ Yapısı 164
Şekil 5.4. İşletme Hava Kapısı ve Sensörler 168
Şekil 5.5. Yeraltında Çalışan Diğer Fanların Ekran Görünümü 169
Şekil 5.6. Patlatma Öncesi Alınan Hata Kodu Ekran Görünümü 172

Şekil 5.7. Makine Çarpmalarına Karşı Oluşturulan Yeraltı Sutreleri 174
Şekil 5.8. İşletmeler İçin Endüstri 4.0 Yol Haritası 182
Şekil 5 9. AHP Hiyerarşik Yapı 185
Şekil 5.10. Super Decision ANP Version 3.2.0 Programı Kullanılarak Amaç ve Kriterlerin Oluşturulma Ekran Görünümü 190
Şekil 5.11. Super Decision Programı ile Küme Oluşturma Ekran Görünümü ... 191
Şekil 5.12. Amaca Göre Kriter Değerlerin Girilme Ekran Görünümü 191
Şekil 5.13. İkili Karşılaştırma Ekran Görünümü 192
Şekil 5.14. Ölçeklerin Karşılaştırılma Ekran Görünümü 193
Şekil 5.15. Kriterlerin Nihai Ağırlıklandırılma Ekranı Görünümü 194
Şekil 5.16. İşletme 2010-2021 Yıllarına Ait İş Kazaları 196
Şekil 5.17. 1460 Nolu Fere 197
Şekil 5.18. 1320 C2 CRS-2 Sağ Galerisi 198

SİMGELER VE KISALTMALAR

İSG : İş Sağlığı ve Güvenliği
ILO : Uluslararası Çalışma Örgütü
WHO : Dünya Sağlık Örgütü
BIT : Bilişim ve İletişim Teknolojileri
IoT : Nesnelerin İnterneti
LAN : Yerel Alan Ağı
RTLS : Gerçek Zamanlı Takip Sistemi
RFID : Radyo Frekans Tanımlama
ÇKKVY : Çok Kiterli Karar Verme Yöntemi
AHP : Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi
GateWay : Ağ Geçidi
RSSI : Alınan Sinyal Gücü
KAFZ : Kuzey Anadolu Fay Zonu

1. GİRİŞ

İnsanoğlu her dönemde kendini bir önceki nesilden bir adım daha ileri taşımak ve ihtiyaçlarını bu doğrultuda karşılamak için kendi türü ve doğa ile sürekli bir mücadele içinde olmuştur. Büyük değişim ve gelişim 18. yüzyılın sonlarına doğru su gücü kullanılarak çalışan makinalar ve buhar gücünün kullanılmasıyla başlamış ve günümüzde birinci sanayi devrimi olarak tanımlanmıştır. Elektriğin 20. yüzyılda keşfedilmesi ve sanayide kullanılması (montaj hattında kitlesel üretime geçilmesi) ile ikinci sanayi devrimi başlamış, 1970'li yıllarda bilgi teknolojileri otomasyon sistemi ve elektroniğin sanayide kullanılmaya başlanması ile üçüncü sanayi devrimine geçiş yaşanmıştır (Alfred ve Chandler, 1994). Üçüncü sanayi devrimi (bilgi ve iletişim teknolojisi) sonrasında yaşanan gelişmeler Endüstri 4.0 diğer adıyla Dördüncü Sanayi Devrimine (gerçek zamanlı bilgi alışverişi) zemin hazırlamıştır (Kagerman ve ark., 2013).

Endüstriyel dönüşümün ve gelişimin yaşandığı her dönem; üretimin hızlı, seri ve esnek bir şekilde gerçekleşmesine katkı sağlarken doğal ve yapay enerji kaynaklarının endüstride kullanılması ile daha da ivme kazanmıştır. Geçmişte ve günümüzde kullanılan her teknoloji gelecekte keşfedilmeyi bekleyen ileri teknolojiler için bir basamak olmuştur. Günümüzde ise Almanya'da başlayan ve birçok ülkenin desteklediği, geleceğe yönelik stratejiler geliştirdiği Endüstri 4.0 olarak tanımlanan yeni bir döneme hazırlanmaktadır. Bu sürecin endüstriye, imalat sanayisine ve çalışanlara yönelik yaratacağı etki halen belirsizliğini korumaktadır.

Bu doktora tez çalışmasında; çok tehlikeli işkollarından olan ve madenciliğin alt dallarından olan bir yeraltı metal maden işletmesinde, iş güvenliği açısından Endüstri 4.0 uygulamaları araştırılmıştır.

1.1. Çalışmanın Amacı

Günümüz dünyası bundan önceki üç sanayi devriminin devamı olarak nitelendirilen Dördüncü Sanayi Devrimine, diğer adıyla Endüstri 4.0'a hazırlanmaktadır. Endüstri 4.0 kavramının net bir tanımı olmamakla birlikte, bilişim, iletişim ve internet teknolojisinin endüstri ile birleştirilerek üretim süreçlerinde kullanılması olarak tanımlanabilir. Teknoloji alanında yaşanan gelişmeler iş hayatında birçok olgunun farklı ve hızlı şekilde evrilmesine neden olmaktadır. Bu değişimin yaratacağı olumlu ve olumsuz etkinin iyi anlaşılabilmesi için geçmişte yaşanmış üç büyük sanayi devriminin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Birinci Sanayi Devrimi ile büyük makinelerin sanayide kullanılmasıyla, buhar kazan patlamaları, maden kazaları ve patlamalar meydana gelmiştir. Bu kazaları önlemek amacıyla makinaların ve ekipmanların bakımları düzenli şekilde yapılarak muhtemel riskler en aza indirilmeye çalışılmıştır. İkinci Sanayi Devriminde, elektriğin sanayide kullanılmaya başlanmasıyla, elektrik yangınları, trafik kazaları, fabrika kazaları, patlamalar meydana gelmiştir. Bu kazaları önlemek için makine koruyucular ve röleler geliştirilmiştir. Üçüncü Sanayi devriminde elektroniğin sanayide kullanılmaya başlanmasıyla büyük endüstriyel kazalar, asansör kazaları, makine-insan çarpışması gibi kazalar yaşanmıştır. Bu kazaların önlenmesi için otomasyon sistemler (PLC) üretim süreçlerine dahil edilmiştir. Dördüncü ve son Sanayi Devriminde ise enformasyon teknolojilerin (IT) kullanılması ile geçmiş kaza tipleri, insansız makine kazaları, robotik hatalar, siber saldırılar vb. nedenlerden dolayı çeşitli kazaların yaşanması beklenmektedir (www.meganova.com.tr). Endüstri 4.0 süreci geçmişte yaşanmış üç sanayi devriminden farklı olarak, yeni teknolojilerin endüstri ve imalat sanayisine entegrasyonu, çalışanların uyum süreci ve öngörülemeyen teknolojik risklerin bu gelişmeye bağlı olarak ortaya çıkması beklenmektedir.

Endüstri 4.0 ile endüstriyel alanda büyük kırılmanın yaşanması beklenmektedir. Birçok mesleğin yakın zamanda yok olması beklenirken buna paralel yeni meslek gruplarının ortaya çıkması, mevcut iş kollarında ise

dönüşümün zorunlu hale gelmesi beklenmektedir. Bu alanda yapılacak bilimsel çalışmaların Endüstri 4.0 vizyonunun ve fırsatlarının daha iyi anlaşılmasına katkı sağlayacağı düşünülmektedir. Bu amaçla, bu çalışma bir yeraltı metal maden işletmesinde Endüstri 4.0 uygulamalarının iş güvenliği üzerine etkisi araştırılmıştır. Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada işletmede kullanılan ve Endüstri 4.0 kapsamında olduğu değerlendirilen teknolojik uygulamaların yıllara göre entegre süreçleri, çalışma prensipleri, üretim verimliliği, çalışan güvenliği açısından etkileri incelenmiştir. İkinci aşamada, iş kazalarının kök nedenlerinin tespit edilebilmesi için çok kriterli karar verme yöntemlerinden olan analitik hiyerarşi proses yöntemi uygulanmıştır. Üçüncü ve son olarak da çalışanların Endüstri 4.0 teknolojilerine yönelik algı düzeylerini ölçmeye yönelik 29 sorudan oluşan tarama modelli nicel bir anket çalışması yapılmıştır.

1.2. İş Sağlığı ve Güvenliği Kavramı

Sözlükte "iş"; bir sonuç elde etmek şeklinde tanımlanırken, bir şeyi elde edebilmek için güç harcayarak yapılan etkinlik, çalışma, "sağlık"; bireylerin fiziksel açıdan, sosyal açıdan ve ruhsal açıdan tam bir iyilik durumunda olması, "güvenlik"; bir toplumun belirli bir yasal düzenin aksamadan sürekliliğinin sağlanması, emniyet gibi anlamlara gelen sözcüklerdir (Şen, 2015). İş sağlığı ve güvenliği kavramı; mühendislik ve tıp bilimlerinden davranış bilimlerine, ergonomiden yeni ve geliştirilebilir teknolojilere kadar geniş bir yelpazeye sahip çok disiplinli bir alandan oluşmaktadır. İş sağlığı ve güvenlik kavramları içinde yer alan sağlık ve güvenlik tanımları birbirini tanımlamakta olup uygulamada ayrı kullanılmamaktadır. Bu yargıyı açıklamak, bu kavram içinde yer alan iş güvenlik kavramının ayrıca tanımlanması ile mümkün hale getirilebilir. İş güvenliği; işin yürütümü sırasında, çalışanların maruz kalabilecekleri tehlikelerin ortadan kaldırılması veya en aza indirilmesine yönelik yapılan teknik kuralları içeren sistemli çalışmaların bütünü olarak tanımlanmaktadır. İş sağlığı ve güvenliği işin tıbbi yönü yani iş sağlığı ve teknik kısmı olan iş güvenliği kısımlarını birleştiren bir

alandan oluşmaktadır. Nitekim iş sağlığı ve güvenlik kavramı Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO), İş Sağlığı Uzmanlar Ortak Komitesinin 1950 yılında yaptığı toplantıda belirtilen aynı zamanda 1995 yılında güncellenen tanımı, konusunun disiplinler arası yapısına en uygun örnek olarak gösterilebilir (Eser, 2016).

1.2.1. İş Sağlığı ve Güvenliğinin Amacı ve Önemi

İş sağlığı ve güvenliği, bir iş sonucu ortaya çıkan kısa veya uzun vadede sağlık sorunlarına neden olabilecek riskleri ortadan kaldırmak veya en aza indirmek amacıyla yapılan çalışmalardır. İş sağlığı; tüm mesleklerde çalışanların bedenen, ruhen ve sosyal yönden iyilik durumlarının devamını sağlamak, kendi yapılarına uygun işlere yerleştirmek ve iş ile çalışan arasında uyumu sağlamak amacını taşımaktadır. İş güvenliği; çalışanları tehlikelerden koruyarak rahat, huzurlu ve güvenli bir çalışma ortamı sağlamak amacıyla tehlikeleri ortadan kaldırmaya yönelik yapılan uygulamalardır (Ünsar, 2003). İş sağlığı ve güvenliği yapılan işin tüm süreçlerini etkileyen ve kapsayan bir kavram olup birçok disiplinden etkilenmektedir (Işık, 2007).

ILO'ya göre her yıl yaklaşık 250 milyondan fazla iş kazası meydana gelmektedir. Uygun olmayan çalışma koşullarından dolayı (sağlıksız ortam ve zararlı maddeler ile temas vb.) her yıl yaklaşık 120 milyon işçi meslek hastalığına yakalanarak veya iş kazası geçirerek yaşamını kaybetmektedir. Bu yüzden toplumun her kesimini etkileyen bu durum en küçük işletmeden en büyük işletmeye, sivil toplum örgütlerinden devlet kurumlarına, üniversitelerden meslek odalarına, işveren/ işçilere ve ailelere önemli sorumluluk yüklemektedir (Ünsar, 2003). Yapılan bir araştırmaya göre; gelişmekte olan ekonomilerde yaşanan iş kazalarının çeşitliliği ve oranları gelişmiş ülkelerdeki iş kazalarına oranla daha yüksektir (Akpınar, 2017). Özellikle gelişimini tam olarak tamamlayamayan ve gelişmekte olan ülkelerin üretim süreçlerinde insan işgücünün

makinalara göre daha ön planda olması iş sağlığı ve güvenliğinin önemini bir kat daha artırmaktadır.

1.2.2. İş Sağlığı ve Güvenliğinde Teknoloji Kullanımının Tarihsel Gelişimi

İnsanoğlu tarih boyunca var olabilmek ve temel gereksinimlerini karşılayabilmek için gerek doğaya karşı gerekse kendi türüne karşı sürekli bir mücadele içinde olmuştur. İlkel tarım malzemeleri ve savaş aletleri ile başlayan bu süreç bilim ve teknoloji alanında yaşanan gelişmeler ile birçok toplumsal olgunun da hızla değişimine zemin hazırlamıştır. İş güvenliğinde teknolojinin tarihsel gelişimi şu şekilde özetlenebilir.

Sanayi devrimi öncesinde yaşayan ünlü tarihçi Heredot, ilk kez çalışanların daha verimli çalışabilmeleri için enerjisi yüksek besinlerle beslenmeleri gerektiğini belirtmiştir. M.Ö. 370 yılında Hipokrates, ilk kez kurşunun zararlı etkilerine değinerek çalışanların; halsizlik, felç, kabızlık ve benzeri rahatsızlıklarını tespit ederek bu bulguların kurşun ile ilgisini açık bir şekilde ortaya koymuştur. M.S. 23 ile 79 yıllarında yaşamış olan Plini ise, çalışma ortamından kaynaklanan tozların zararlı etkilerinden korunmak amacıyla çalışanların başlarına maske yerine poşet geçirmelerini tavsiye etmiştir. Tirol, maden işletmelerinde iş yeri hekimi olarak çalıştığı yıllarda "De Morbis Metallicis"i kaleme alarak bazı tanımlamalar yapmıştır. Bu tanımlamalardan bazıları günümüzde pnömokonyoz olarak bilinen meslek hastalığı tanısında da kullanılmaktadır. Bilinen ilk minoroloji bilgini olan ve 1494-1555 yılları arasında yaşayan Georgius Agricola, bazı zehirlerin etkilerini belirleyerek bunlara karşı alınması gereken koruyucu önlemler önermiştir. Ayrıca iş kazalarına da değinerek bazı çözüm önerileri geliştirmiştir. Agricola, hekimlik yaptığı Jachymor'da mineroloji ve madenlerde çalışanların sorunlarını araştırmış ve yapmış olduğu gözlemlerini 1530 yılında "De Re Metallica" isimli yazmış olduğu eserinde yayınlamıştır. 18. yüzyılın ortalarında James Watt tarafından keşfedilen buharlı makineler, doğa gücünün ve organik gücün yerini almış ve insanoğlu için yeni bir dönemin kapısı aralanmıştır (Selek, 2016). Buharlı

makineler öncelikle kömür madenlerinde biriken suların dışarı atılması amacıyla daha sonra da pamuklu dokuma makinelerinde kullanılmıştır. Fabrika sisteminin gün geçtikçe artması işgücü gereksinimini de artırmıştır. Üretim yöntemlerinde çeşitlilik yaşanmasına karşın iş sağlığı ve güvenliği açısından herhangi bir koruyucu tedbir alınmamıştır (Durdu, 2006).

İş sağlığı ve güvenliği insanlık tarihi kadar eski olsa da bu alanda asıl önemli gelişmeler sanayi devrimi ve sonraki dönemlerde gerçekleşmiştir (Şen, 2015). Sanayi devrimi üretimde büyük bir dönüşümün yaşandığı bir süreç olmuştur. Avrupa'da nüfusun hızlı artışı, teknolojik keşifler, ticaretin hızlanması, kapitalizm gibi gelişmeler bu sürece ivme kazandırmıştır. Yeni fabrikaların açılması kırsal alanlardan kentlere göç oranını hızlandırmıştır. Bu durum aynı zamanda toplumun büyük bir kısmının bu sürece dâhil olmasına neden olmuştur. Ucuz iş gücü, yetersiz beslenme, sağlıksız çalışma koşulları, yetersiz sağlık ve güvenlik önlemleri sonucu birçok çalışan iş kazasına veya meslek hastalığına maruz kalarak hayatını kaybetmiştir. Bu gelişmeler devletlerin çalışma hayatına müdahale etmesi gerektiğini ihtiyacını ortaya koymuş ve çalışma hayatında bazı düzenlemeler yapılmasına zemin hazırlamıştır.

Bu gelişmeler ışığında İngiliz Parlamento üyesi Anthony Ashley Cooper'ın maden ocaklarında çalıştırılan çocuk ve kadın işçileri korumak amacıyla, koruyucu hükümler ile ilgili girişimleri; dönemin hekimlerinden Thomas Percival'ın genç çalışanların çalışma süreleri ve çalışma koşulları ile ilgili hazırlamış olduğu raporlar, parlamenter Sir Robert Peeli'i etkilemiş ve bu konuda İngiliz Parlamentosu'nda girişimlerde bulunmuştur. İngiltere'de Percival Pott tarafından baca temizleme işçileri ve yakalandıkları meslek hastalıklar ile fabrikalarda baca temizleyici olarak çalıştırılan çocuk emeğinin kullanımı nedeniyle 1788 tarihinde Baca Temizleyicileri Kanunu çıkarılmıştır. 1802 tarihinde çıkarılan Fabrikalar Kanunu (Çırakların Sağlığı ve Morali adlı yasa olarak bilinmektedir) ile çocuk işçilerin çalışma sürelerine sınırlandırma getirilmiş, fakat uygulamada yaşanan sıkıntılardan dolayı 1833 tarihine kadar uygulanamamıştır. 1842 tarihinde

yürürlüğe giren" On Saat Yasası" ile çalışma sürelerinde iyileştirmeler yapılarak işyeri denetimi ve iş müfettişliği sisteminin altyapısı oluşturulmuştur. Bu gelişmelerin yanı sıra Almanya'da 1849, İsviçre'de 1840, Fransa'da 1842 tarihinde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili kanunlar yürürlüğe girmiştir. Avrupa'da yaşanan bu gelişmelere paralel olarak Amerika Birleşik Devletleri'nde de iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili gelişmeler yaşanmıştır. Ulusal ölçekte yapılan iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili düzenlemelerin yanı sıra uluslararası platformda 1919 tarihinde kurulan Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO), ilk başta Birleşmiş Milletlere bağlı bir organizasyon yapısına dâhil iken 1946 tarihinde bağımsız uzmanlık kuruluşu haline gelmiştir (Çiçek ve Öçak, 2016). Türkiye'de ise sanayi devriminden sonraki süreçte sosyal güvenlik kavramı ortaya çıkmış, 19. yüzyılın ikinci yarısından sonra, Tanzimat ile birlikte, Osmanlı Devleti'nde bu alanda düzenlemeler yapılmıştır. 1865 yılında Dilaver Paşa Nizamnamesi ve 1869 yılında Maadin Nizamnamesi bu alanda yapılan düzenlemelere örnek olarak gösterilebilir. Dilaver Paşa Nizamnamesi, Ereğli bölgesinde yer alan maden işçileri için hazırlanmış bir düzenlemedir. O dönemin padişahının onay vermemesine rağmen bu düzenleme uygulamaya geçmiştir. Nizamnamede; maden işçilerinin çalışma süreleri, gece açıkta yatmamaları, maden ocağında doktor bulundurulması gibi hususlar yer almıştır. Maadin Nizamnamesinde ise daha çok iş güvenliği alanında görülen eksik hususlar ön planda tutulmuştur. İş kazalarına karşı koruyucu önlem ve tedbirlerin alınması, zorla çalıştırılmanın yasaklanması, maden ocaklarında doktor bulundurulması, kazaya uğrayan işçiye tazminat verilmesi gibi konular hakkında düzenlenmeler yer almıştır. Osmanlı döneminde ilk işçi topluluğu 1866 yılında kurulan Ameleperver Cemiyeti olup meslek öğretmek, ekipman temin etmek ve iş bulmak gibi amaçlar doğrultusunda faaliyet göstermiştir. Bu hizmetler sosyal güvenlik uygulamalarına da örnek gösterilebilir. Cumhuriyetin ilanından önce Büyük Millet Meclisi tarafından çıkarılan 1921 tarihli ve 151 sayılı Zonguldak ve Ereğli Havza-i Fahmiyesi'nde Maden Amelesinin Hukukuna Müteallik Kanun kısıtlı da olsa sosyal politika açısından önemli bir gelişme olarak değerlendirilebilir

(Arslanboğa, 2018). Cumhuriyet dönemi incelendiğinde 1923 yılında toplanan Birinci İktisat Kongresi'nde çalışanların korunması amacıyla birtakım kararlar alınmıştır (Makal, 1999). Çalışanların sekiz saatlik çalışma süresince bir saat dinlenme sürelerinin verilmesi, gündüz çalışan işçilerin gece çalışma sürelerinin azami dört saat olması, maden işlerinde günlük altı saat olacağı şeklinde çalışma sürelerini belirten bazı hususlar yer almıştır. Bu dönemin bir diğer önemli gelişmesi ise 1926 yılında Türk Borçlar Kanunu'nun çıkarılmasıdır. Bu kanun, iş hukuku açısından önemli bir gelişme olup işveren ile çalışan arasındaki hizmet akdi ile ortaya çıkan borç ilişkisini düzenleyen hususlara değinilmiştir. 1930 yılında Umumi Hıfzısıhha Kanun'unda iş sağlığı ve güvenliği açısından dolaylı bir nitelik taşımakta olup çoğunlukla halk sağlığını ilgilendiren bazı koruyucu hususlara değinilmiştir. 1936 yılında 3008 sayılı İş Kanunu ile iş sağlığı ve güvenliği açısından dönüm noktası olmuştur. İşverenin iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili yükümlülükler (çalışanların korunması, koruyucu tedbirlerin alınması ve çalışanların bilgilendirilmesi) bu düzenleme ile mümkün olmuştur. Bu dönemin diğer önemli gelişmeleri ise, 1945 yılında 4292 sayılı Kanun ile İşçi Sigortaları Kurumu kurulmuş, aynı tarihte 4772 sayılı İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları ve Analık Sigortası Kanunu kabul edilmiştir. Çalışanlar bu tarihten itibaren başta iş kazaları ve meslek hastalıkları olmak üzere sosyal güvenlik haklarına kavuşmuşlardır. 1947 yılında çalışanlara ve işverenlere sendika kurma hakkı tanınmıştır. 1961 Anayasası ile İş Kanunu'nda bazı düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenleme kapsamında sendika, grev ve toplu sözleşme haklarının tanınması ile çalışma kanunun alt yapısı tamamlanmıştır. İş sağlığı ve güvenliği hukuku açısından geniş kapsamlı bir mevzuat büyük oranda bu dönem de hazırlanmıştır. 1971 tarihli ve 1475 sayılı İş Kanunu'nun yürürlüğe girmesiyle iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili tüzük ve yönetmelikler daha kapsamlı hale getirilmiştir. Yapılan bu düzenlemenin 73. Md. 'sinde işveren, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili şartları yerine getirmekle yükümlü hale getirilmiştir. Aynı düzenlemede çalışanların uymakla yükümlü oldukları usul ve şartlar ile ilgili hususlara da değinilmiştir.

Avrupa Birliği'ne üyelik müzakerelerinin ivme kazandığı 2003 yılında 4857 sayılı İş Kanunu ile iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili bazı düzenlemeler yapılmıştır (Erginbaş, 2010). Son olarak 2012 yılında 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve bu kanunu destekleyici yönetmelikler çıkarılmıştır.

1.3. İş Sağlığı ve Güvenliğinin Hukuki Dayanakları

İşyerlerinde iş güvenliğini iyileştirici aynı zamanda sektöre nitelikli işgücü kazandırmak amacıyla, 21 Eylül 2006 tarihli ve 5544 sayılı Kanun ile Mesleki Yeterlilik Kurumu (MYK) kurulmuştur. MYK, meslek standartlarını temel alarak, mesleki ve teknik alanlarda yetkinliklerin esaslarını belirlemek, ölçmek, denetlemek, değerlendirmek, sertifikalandırma ve belgelendirmeye ilişkin faaliyetleri yürütmek amacıyla kurulmuştur. Mesleki yeterlilik kurumunun temel görevi; Avrupa Birliği ile uyumlu "Ulusal Mesleki Yeterlilik" sistemini kurmak ve işletmektir. Bu görevlerden biri de mesleki standartlarının belirlenmesidir. Meslek standardı; bir mesleğin başarılı bir şekilde icra edilebilmesi için, beceri, gerekli bilgi, tavır ve tutumların neler olduğunu gösteren asgari normlardır (www.myk.gov.tr). 25 Mayıs 2015 tarihinde 29366 sayılı Resmî Gazetede Mesleki Yeterlilik Kurumu Mesleki Yeterlilik Belgesi Zorunluluğu Getiren Mesleklere İlişkin Tebliğ yayınlanarak yürürlüğe girmiş ve 40 meslekte MYK zorunlu hale getirilmiştir. Tebliğin 3. Md. 'sinde tehlikeli ve çok tehlikeli işlerden olup MYK tarafından standardı belirlenmiş mesleklerde, Mesleki Yeterlilik Kurumu Mesleki Yeterlilik Belgesine sahip olmayan kişilerin bu Tebliğin yayın tarihinden geçerli olmak üzere on iki ay sonra çalıştırılamaz ibaresine yer verilmiştir. Yapılan düzenlemeye ek olarak 2016/1 nolu 2. Tebliği ile 24/03/2016 tarihinde yayınlanarak 8 meslekte daha belge zorunluluğu getirilmiştir. 26/09/2017 tarihinde Resmî Gazete'de yayınlanan 3. Tebliğinde ise zorunlu mesleklere 33 meslek daha eklenerek zorunluluk kapsamındaki meslek sayısı toplamda 81'e çıkarılmıştır (Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı). MYK ile işverenlerin istihdam konusunda çalışanların beceri ve yeteneklerini önceden tespit etmeleri ve

çalışanların ilgi alanlarına göre uygun pozisyonlara planlamalarına katkı sağlamasının yanısıra mesleki bilincin gelişmesine ve işin yürütümü esnasında ortaya çıkabilecek riskli ve tehlikeli durumların farkındalığını da artırması beklenmektedir. 05/06/1986 tarihli ve 3008 sayılı Mesleki Eğitim Kanunu'na göre; "Millî Eğitim Bakanlığına Bağlı mesleki ve teknik okullardan ve üniversitelerin mesleki ve teknik eğitimi veren okul ve bölümlerinden mezun olup, diplomalarında veya belgelerinde belirtilen bölüm, alan ve dallarda çalıştırılanlar için bu şart aranmaz." ibaresi yer almaktadır.

Son olarak 9 Nisan 2021 tarihli ve 31449 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Tebliğ ile 40 mesleğe daha Mesleki Yeterlilik Belgesi Zorunluluğu getirilmiştir (Resmî Gazete, 2021). Bu kapsamda çok tehlike iş kollarından olan madencilik sektöründe mesleki yeterlilik belgesi aranan mesleklerin sayısı sekize (Çizelge 1.1) çıkmıştır.

Çizelge 1.1. Madencilik Sektöründe Mesleki Yeterlilik Belgesi Zorunluluğu Getirilen Çalışma Alan Kodları (www.myk.gov.tr)

Sıra No	Ulusal Yeterlilik Kodu	Yeterlilik Adı
1	16UY0265-3	Kırma Eleme Tesisi Op.
2	18UY0363-4	Mekanizasyon İşçisi (Maden)
3	18UY0364-4	Mekanize Kazı Op.
4	16UY0266-3	Mermer Doğaltaş Ocakcısı
5	16UY0267-4	Mermer–Doğaltaş Özel İmalat Elemanı
6	18UY0365-4	Pres İşçisi (Maden)
7	18UY0379-3	Yeraltı Hazırlık İşçisi
8	18UY0379-4	Yeraltı Hazırlık İşçisi

2003 yılında 4857 sayılı İş Kanunu, 2006 yılında Mesleki Yeterlilik Kurumu'nun kurulması, 2006 yılında 5510 sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası ve devamında 2012 yılında 6331sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu

gibi yasal düzenlemelerin çıkarılması nitelikli çalışanların sayısının artırılması amaçlanırken diğer taraftan da iş kazaları ve meslek hastalıklarının en aza indirilmesi hedeflenmiştir.

Çizelge 1.2. 1990-2020 Yıllarına Ait Maden İş Kazaları ve Ölüm Oranları (Maden Mühendisleri Odası, 2010-2020 Raporu)

Yer	Tarih	Kazanın Şekli	Ölen Sayısı
Yeni Çeltek	1990	Grizu	68
Kozlu	1992	Grizu	263
Sorgun	1995	Grizu	37
Aşkale	2003	Grizu	8
Ermenek	2003	Grizu	10
Bayat	2004	Grizu	3
Küre	2004	Yangın	19
Gediz	2005	Grizu	18
Dursunbey	2006	Grizu	17
M. Kemalpaşa	2009	Grizu	19
Dursunbey	2010	Grizu	17
Karadon	2010	Grizu	30
Elbistan	2011	Şev Kayması	11
Kozlu	2013	Metan Degajı	8
Soma	2014	Ocak Yangını	301
Ermenek	2014	Su baskını	18
Şirvan	2016	Heyelan	16
Şırnak	2017	Heyelan	7
Milas	2019	Blok Kayması	3
Soma	2020	Göçük	3

Çizelge 1.2'de yapılan yasal düzenlemeler öncesinde ve sonrasında meydana gelen ve en çok ölümle sonuçlanan maden iş kazaları ve sebepleri görülmektedir. Yapılan yasal düzenlemelere rağmen hemen hemen her yıl benzer sebeplerden dolayı onlarca maden iş kazası meydana gelmektedir.

1.3.1. İş Sağlığı ve Güvenliğinin Uluslararası Hukuki Dayanakları

İş sağlığı ve güvenliğinin uygulanabilmesi maliyet gerektirmektedir. Fakat iş kazalarından veya meslek hastalıklarından kaynaklı bireysel, sosyal, ekonomik ve toplumsal maliyeti çok daha yüksek olabilmektedir. Bu yüzden önlemek için yapılan maliyet, kaza sonrası çıkan maliyete göre çok daha azdır. Bu nedenle Avrupa Birliği, iş sağlığı ve güvenliğinde önleyici yaklaşımı ilke edinmiştir (Koray ve Koçak, 2018). İş sağlığı ve güvenliğinin amacı, sağlığı, temel hakları tehdit eden risklerin oluşturduğu tehditleri ortadan kaldırmaktır. İşçilerin bu gibi risklerden korunabilmesi için sendikal haklar ve toplu sözleşmeler işçilerin sahip oldukları önemli haklardan birkaçıdır. Bu sebepten dolayı iş sağlığı ve güvenliği ILO'nun sözleşme konularının oluşmasında önemli bir etken olmuştur. Ayrıca ILO bu sözleşmelerin yanı sıra yaşam hakkı, sağlık hakkı, örgütlenme hakkından doğan iş sağlığı ve güvenliği gibi sosyal hakları güvence altına alan bir tür uluslararası hükümler getirmiştir. Bu sözleşmelerin uygulanmasını denetlemek amacıyla oluşturulan kurumlar ve Avrupa İnsan Hakları Mahkemesi (AİHM) kararları bir başka hukuki kaynağı oluşturmaktadır. Türkiye Cumhuriyeti Anayasasının 90/4.md.'sinde yer alan temel insan hakları sözleşmeler ile iç hukukun çatışması durumunda uluslararası sözleşmelere üstünlük verilmiştir. İş sağlığı ve güvenliğini yakından ilgilendiren bir diğer uluslararası kuruluş ise Dünya Sağlık Örgütü (WHO) olup 1946 yılında Birleşmiş Milletlere bağlı bir ihtisas kuruluşu olarak kurulmuştur. WHO, iş sağlığı ve güvenliğini insanların yaşam hakkına bağlı olarak değerlendirmiştir. Sağlığın, yaşamın bir amacı olmadığını günlük hayatımızın bir kaynağı olduğunu savunmaktadır. Sağlık ile çalışma hayatımız arasında ciddi bir etkileşim vardır. Sosyal, kültürel, siyasi, çevresel ve biyolojik faktörler gibi etkenlerin sağlık üzerinde olumlu/olumsuz etki yaratabilmektedir. "Avrupa Adalet Divanı, 1996 tarihinde vermiş olduğu bir kararda, Dünya Sağlık Örgütü (WHO)" Anayasası'nda yer alan sağlık kavramını esas alarak, Roma Antlaşması'nın 137.md.'sinde "güvenlik", "sağlık", "çalışma ortamı", gibi terimlerin; çok dar

anlamda değil, işçilerin işyerinde sağlık ve güvenliklerini tehdit eden bütün faktörleri kavrayacak anlamıyla kabul edilmelidir" denmiştir (Özveri, 2015).

1.3.2. Türkiye'nin İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Onayladığı ILO Sözleşmeleri

Türkiye'de 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu kabul edilinceye kadar 4857 sayılı İş Kanunu'nun 5. Bölümünde bulunan "İş Sağlığı ve Güvenliği" başlığı altındaki hükümler ile bazı yönetmeliklerden faydalanılmıştır. 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile önemli bir gelişme kaydedilmiş olup bahsi geçen Kanun 2012 yılı Avrupa Birliği İlerleme Raporuna da konu olmuştur. Bu düzenleme ile işçi, işveren hak ve yükümlülükleri net olarak belirlenmiştir.

Türkiye'de iş kazası ve meslek hastalığı sonucu günde ortalama dört işçi yaşamını yitirmektedir. Yaşanan iş kazaları sonucu, iş günü kaybı, sağlık giderleri, araç ve gereç zaiyatı, sürekli iş göremezlik ödenekleri, işçilerin motivasyonlarında düşüş yaşanabilmektedir. Bu hususlar göz önünde bulundurularak yapılan bir araştırmaya göre ilgili sebeplerden doğan işgücü kaybının Türkiye'ye maliyeti milli gelirin yaklaşık %4'üne denk gelmektedir (Korkut ve Tetik, 2013). Dünya geneli dikkate alındığında hemen hemen her yıl iş kazası ve meslek hastalığı sonucunda milyonlarca insan yaşamını yitirmektedir. Bu yüzden iş sağlığı ve güvenliği küresel anlamda bir sorun olmaya devam etmektedir. Nitekim uluslararası alanda iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili yapılan düzenlemelere destek olan ILO, sosyal adalet, daha iyi yaşama koşullarını sağlamak, işçi ile işvereni bir araya getirerek ortak hareket etmelerini sağlamak amacıyla 1919 yılında Versay Barış Antlaşmasıyla kurulmuştur. Türkiye Cumhuriyeti 1932 yılında Milletler Cemiyetine üye olduğundan dolayı Versay Barış Antlaşması'nın 387 md.'sinin gereği olarak Uluslararası Çalışma Örgütünün üyesi sayılmıştır (Sayın, 2013).

Türkiye'nin iş güvenliği ile ilgili onayladığı başlıca sözleşmeler; 161 sayılı İş Sağlığı Hizmetleri Sözleşmesi, 155 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Sözleşmesi, 187 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Geliştirme Sözleşmesini, 167 sayılı İnşaat

İşlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Sözleşmesi ile 176 sayılı Madenlerde İş Sağlığı ve Güvenliği Sözleşmesidir (Bilir, 2016).

176 sayılı Madenlerde Güvenlik ve Sağlık Sözleşmesi, Ulusal Meclis tarafından 2014 yılında kabul edilmiştir. Bu sözleşme ile maden işletmelerinde uluslararası standartlar belirlenmiştir. Bu sözleşmeye göre taraf ülkelerin "ulusal koşulları ve uygulamaları göz önünde bulundurarak en fazla temsilci yetkisine sahip ilgili işçi ve işveren kuruluşlarının temsilcilerine de danışmalıdır. Sözleşme kapsamında maden işletmelerinde iş sağlık ve güvenliğine ilişkin tutarlı politikaların oluşturulması ve bu politikaların yürürlüğe konularak periyodik olarak gözden geçirilmesi yönünde taahhütte bulunmalarını gerektirmektedir" hususu yer almaktadır (TBB, 2014).

161 No'lu İş Sağlığı Hizmetleri Sözleşmesi, Ulusal Meclis tarafından 2004 yılında kabul edilmiş 2005 yılında yürürlüğe girmiştir. Bu Sözleşme de bütün ekonomik faaliyet alanlarında ve işletmelerde, üretim kooperatifleri, kamu sektörlerinin temsilcileri ve çalışanları da içine alacak şekilde, iş sağlığı hizmetlerinin gelişiminin sürekliliğini sağlayacak şekilde üstlenilmesi gerektiği vurgulanmıştır.

187 No'lu İş Sağlığı ve Güvenliği Geliştirme Çerçeve Sözleşmesi, Ulusal Meclisimiz tarafından 2014 yılında kabul edilmiştir. Bu sözleşmeye taraf olan ülkeler "çalışan temsilcilerinin görüşlerini alarak iş kazalarını, meslek hastalıkları ve can kayıplarını önlemek için iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili tedbirlerini sürekli geliştirmeli ve iyileştirmelidir" hususu yer almaktadır.

167 No'lu İnşaat Sektöründe Güvenlik ve Sağlık Sözleşmesi, Ulusal Meclis tarafından 2014 tarihinde kabul edilmiştir. Bu sözleşme inşaat alanlarında iş sağlığı ve güvenliğinin geliştirilmesinde işverenler ile işçiler arasında koordinasyonun sağlanabilmesi için gerekli önlemlerin alınması hususuna vurgu yapmıştır (Nurdoğan, 2018).

155 No'lu İş Sağlığı ve Güvenliği ve Çalışma Ortamına İlişkin sözleşme, Ulusal Meclis tarafından 2004 yılında kabul edilip 2005 yılında yürürlüğe

girmiştir. Bu sözleşmeye taraf olan ülkelerin ulusal politikayı formüle etmesi, gözden geçirmesi, çalışanların sağlığını ve güvenliğini geliştirmeye yönelik ilerlemeler ve etkilerini ölçmesi ile yükümlü tutmuştur**.** Bu bağlamda 155 sayılı Sözleşme ile 164 sayılı Tavsiye Kararı tarafından öngörülen strateji, iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili ulusal bir politikanın oluşturularak işçi ve işveren ile ilgili organizasyonların ve diğer paydaşlarında katılımını sağlamayı öngörmektedir (ÇASGEM, 2018).

1.4. İş Güvenliği Yönetim Sistemi

İş güvenliği yönetim sistemleri, sistematik bir şekilde tehlikeleri belirlemek, riskleri ortaya çıkarmak ve bu riskleri kontrol altına almak amacıyla uygulanan yöntemlerin tamamına denir (Serin ve Çuhadar, 2015). İş güvenliği yönetim sistemi ile ilgili ilk düzenleme İngiliz Standart Kurumu (BSI) tarafından 1996 yılında yayınlanan BS 8800'dir (BS 800, 1996). BSI ve birçok kuruluşun iştiraki ile İngiliz Standart Enstitüsü bünyesinde oluşturulan HS-1 Teknik Komitesi tarafından ISO 9000 Kalite Yönetim Standartları, ISO 14000 Çevre Yönetim Standartları vb. standartlar dikkate alınarak hazırlanmıştır. 1999 yılında İngiliz Standart Teşkilatı, İrlanda Ulusal Standart Teşkilatı ve birçok kurum-kuruluşun katılımı ile OHSAS 18001 Standartını hazırlamışlardır (OHSAS 18001, 1999). OHSAS 18001 iş sağlığı ve güvenliği yönetim sistemi, politika oluşturma, performans ölçümü, risk analizi, denetleme ve periyodik durum değerlendirme alt başlıklarından oluşmaktadır. Böyle bir yönetim sisteminin işyerlerine uygulanması iş kazaları ve meslek hastalıkları sonucu ortaya çıkabilecek maliyetleri en aza indirecektir. İşçilerin daha verimli çalışmasına ve buna bağlı olarak işletme karlılığının, personel motivasyonunun ve işyeri prestijinin artmasına olanak sağlayacaktır (Yılmaz, 2009). OHSAS 18001'de iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili birçok husus yer alsa da bir ISO standardı değildir. 2013 yılında aralarında Türkiye'ninde bulunduğu 62 ülkenin ve 12 gözlemcinin katılımı ile bir komite oluşturulmuştur. 2018 yılında ISO 45001 standardı yayınlanmıştır (Sevim ve

Gürcanlı, 2018). Uluslararası İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi ISO 45001 birçok kuruluşun çalışanlarına sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı sağlamayı amaçlamaktadır. ISO 45001'in OHSAS 18001'den ayıran temel fark iş sağlığı ve güvenliği performansının önceden gerekli önlemler alınarak geliştirilmesidir. ISO 45001'de risk yönetimi, alt işverenleri, yüklenicileri ve tedarikçileri ilgilendiren maddeler yer almaktadır. ISO 45001 yönetim sisteminin getireceği farkındalık ile meslek hastalıklarının ortaya çıkmasındaki süreçler sürekli gözlem ve iyileştirmelerle kontrol altında tutulabilir. Böylelikler çalışanlar için sağlıklı ve daha güvenli bir çalışma ortamı hazırlanmış olur (Sevim ve Gürcanlı, 2018). Bu yönetim sistemi yeni nesil yönetim sistemleri için geliştirilmiş üst düzey bir yönetim sistemidir. ISO 45001 ile işletmeler kendi iç bünyelerindeki sağlık ve güvenlik konularının yanı sıra toplumun da sağlık ve güvenlik ile ilgili neler beklediğini değerlendirmek ve gerekli analizleri yapmak zorunda kalacaklardır (Çakmak, 2019).

1.5. Güvenlik Kültürü ve Güvenlik İklimi

Güvenlik kültürü, ilk olarak 1986 yılında Çernobil'de meydana gelen nükleer kazadan sonra gündeme gelmiştir. 1987 yılında ise OECD Nükleer Ajansı tarafından hazırlanan raporda değinilmiştir. Hazırlanan bu rapor ile kazaların önlenebilmesinde güvenlik kültürünün önemine değinilmiştir. İş güvenlik kültürü İngiliz Endüstri Konfederasyonu tarafından; kaza, risk, görünen hastalıklar konusunda bir işyerinin tüm çalışanlarıyla paylaşılan görüş, düşünce ve inanışlar şeklinde açıklanmıştır (Aytaç ve ark.,2017). Güvenlik kültürü muhtemel tehlikeleri önceden sezebilmek, yapılmakta olan veya yapılacak işin yapısı gereği ortaya çıkabilecek riskleri öğrenmek, yalnızca iş ortamında değil günlük hayatın her anında güvenliği ön planda tutmak, riskli hareketlerden kaçınmak, gereksiz risk almamak, güvenlik olgusunu alışkanlık haline getirmektir (Akalp ve Yamankaradeniz, 2013). Örneğin, tehlikeli durumlar, işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerini alarak önlenebilmekte iken, tehlikeli davranışları ise eğitim

yoluyla çalışanların tehlikeli hareketlerinin yerine tehlikesiz hareketler/davranışlarla değiştirmesi ve güvenlik kültürünün o işletmede benimsenmesi suretiyle önlenebilmektedir (Çögenli ve Özer, 2017). Güvenlik iklimi ise; sözü edilen, anlam ve inançların algılanması ile ilgili bir kavramdır. İklim, örgüt içindeki algı paylaşımını ortaya koyar. Bir başka tanıma göre ise; çalışma alanlarında alınması gereken güvenlik politika ve uygulamaların çalışanlar tarafından algılanması olarak nitelendirilmiştir (Özdemir ve ark.,2016). Güvenlik iklimi yalnızca çalışanların güvenlik algılarını ve güvenliğe yönelik davranışlarını ifade ederken güvenlik kültürü ise geneli kapsamaktadır (Kol, 2016).

1.6. İş Kazaları ve Nedenleri

Genel anlam itibari ile kasıt söz konusu olmaksızın, beklenmedik bir anda meydana gelen ve çoğunlukla zarar ile sonuçlanan her durum kaza olarak tanımlanmaktadır. İş kazasının bu genel tanımında görüş birliğinde bulunulmasına rağmen farklı yaklaşımlar da bulunmaktadır. Kavramı teknik açıdan değerlendirenler; teknik bir arıza veya hatalı bir davranış sonucunda beklenmedik bir anda ortaya çıkan yaralanmaya veya ölüme neden olan üretimin durmasına veya kesintiye uğraması ile sonuçlanan istenmeyen olay olarak tanımlamışlardır. Hukuki açıdan kaza yaklaşımı ise; hukuki sistem çerçevesi ile ilişkili olan ve yalnızca kişilere zarar veren olay olarak tanımlanmıştır. Sosyal politika ve iş güvenliği açısından değerlendirenler ise; iş sürecinde işçinin çalışma koşulları, işin yürütümü için kullanılan makine ve teçhizattan dolayı uğramış olduğu, işgücünün tamamını veya bir kısmını kaybettiği olay şeklinde tanımlamışlardır. Uluslararası kuruluşlar ise daha genel ve üst tanımlamalar yapmışlardır. WHO iş kazasını; daha önceden planlanmamış, çoğu zaman yaralanmalara, makine araç ve gereçleri zarara uğratan veya üretimin bir süre durmasına neden olan durum olarak tanımlamıştır. ILO, işin yürütümü esnasında veya işte meydana gelen; ölüme, yaralanmaya veya meslek hastalığına neden olan olay olarak tanımlamıştır. Avrupa Birliği İstatistik Ofisi, iş ortamında veya işin yürütümü esnasında fiziksel ve ruhsal açıdan zarara neden olan

olay olarak tanımlamıştır (Kılkış, 2018). Türkiye'de 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 3.md.'sinde; işyerinde veya işin yürütümü esnasında meydana gelen ölüme veya yaralanmaya sebebiyet veren ya da bedenen veya ruhen zarara uğratan olay olarak tanımlanmıştır (6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, 2012). İş kazası 5510 sayılı Kanunun 13.md.'sinin birinci fıkrasında yer alan hususlar sonucu, sigortalıyı hemen veya sonradan zarara uğratan olaylar şeklinde tanımlanmıştır (5510 Sayılı Kanun, 2006). İş kazaları ve meslek hastalığını birbirinden ayıran en önemli husus; iş kazalarının aniden gelişmesi ve bir anda ortaya çıkmasıdır. Meslek hastalığı ise tam olarak ne zaman başladığı net olarak belirlenemese de kişilerin çalışma hayatında hastalığa neden olan ana etkenle ilk temasından yaklaşık 1 hafta ile 30 yıl arasında ortaya çıkabileceği varsayımında bulunulmaktadır (Akkaya, 2017). Bir olayın iş kazası olarak tanımlanabilmesi için kazaya uğrayan kişinin sigortalı olması, kazaya uğrayan kişinin hemen veya daha sonra bedenen veya ruhen zarara uğraması, kaza ile illiyet bağının bulunması, 5510 sayılı Kanun'un 13.md.'sinde bulunan hususları taşıması (5510 sayılı Kanun, 2006) gerekmektedir.

İş kazası en genel ifade ile işyerinde işin yürütümü esnasında meydana gelen, ölüme, vücut bütünlüğüne veya bedenen ya da ruhen zarar uğratan olay olarak tanımlanmaktadır. İş kazalarının ortaya çıkmasında en temel husus dört faktörün; insan, makine, çevre ve yönetimin gerekli etkileşimi düzenli ve koordineli bir şekilde yerine getirememesi/getirmemesi sonucu ortaya çıkmaktadır. Bu hususlar dikkate alındığında;

İş kazalarında insan kusuru**;** iş kazalarının ortaya çıkmasının en önemli sebeplerinden bir tanesidir. Bu durum; çalışma ortamlarından kaynaklı nedenler (çalışanlar arasında koordinasyon eksikliği, mobbing, çalışanların iletişim eksikliği vb.), psikolojik nedenler (unutkanlık, dalgınlık, isteksizlik, dikkatsizlik vb.) ve fiziksel nedenler (alkol, yorgunluk, uyuşturucu bağımlılığı vb.) olarak sıralanabilir. İş kazalarının ortaya çıkmasında birinci etken olarak %80'lik bir oranla insan faktörü oluşturmaktadır. Bu durumun ortaya çıkmasındaki en önemli etken bütün

hatanın yaralanan kişi veya güvenli olmayan hareketi yapan kişiden kaynaklanmasıdır. Shealy'e göre bu durumun ortaya çıkmasındaki nedenleri şu şekilde açıklamıştır;

- Bir şey yanlış gittiğinde aktif olarak çalışan kişisinin kusurlu olması insanın doğasındandır.
- Yasal düzenimiz; hata, sorumluluk ve kusurlu üzerine inşa edilmiştir.
- İş kazalarını araştırmak amacıyla kullanılan formlar genellikle "güvensiz durum ve güvensiz eylem" için modellenmiştir (Sabancı ve Sümer, 2011).

Makine kaynaklı iş kazaları; üretim süreçlerinde kullanılan makinelerin bakım ve onarımlarının periyodik olarak yapılmaması, makine yorgunluğu, yanlış montaj, makine koruyucularının bulunmaması, kusurlu alet, yanlış üretim metotlarının seçimi gibi hususlar sıralanabilir.

Çevresel kaynaklı iş kazaları**;** çalışma alanlarına ve yapılan işin türüne göre değişiklik gösteren çevre koşulları çalışanların sağlığını kalıcı veya geçici olarak sürekli etkilemektedir (Yılmaz, 1999). Çalışanları etkileyen çevresel kaynaklı sorunlar geniş kapsamlı ele alındığında; yetersiz beslenme, ailevi sorunlar, yetersiz maaş, vardiya sistemi gibi etkenlerden bahsedilebilir (Biçer, 2007).

Yönetimsel kaynaklı iş kazaları*:* iş kazalarını azaltmak amacıyla işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerinin etkili bir şekilde planlanmalı, organize edilmeli ve belirli periyodlarla denetlenmelidir (Yılmaz, 2009). Bu çerçevede 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nu 4.md.'si uyarınca işveren, işyerinde işin yürütümü sürecinde çalışan sağlığı ve güvenliği ile ilgili her türlü önlemi almakla yükümlüdür (İş Sağlığı ve Güvenliği Mevzuatı, 2012).

2. ENDÜSTRİ 4.0

2.1. Endüstri 4.0 Kavramı

Endüstri 4.0; 3D (üç boyutlu) yazıcılar, uzay teknolojisi ve yapay zekâ gibi alanlarda meydana gelen gelişmeler ile bütün bağlantılı nesnelerin, internet bağlantısı sayesinde birbirleriyle etkileşim sağlayabileceği smart manufacturing (akıllı üretim) olarak adlandırılmaktadır (Aksoy, 2017). Bu teknolojilerin gelişmesi günlük hayatımızı, çevremizi ve dünyamızı hızlı ve sürekli bir değişime itmektedir. Aynı zamanda kullanılan ürün, hizmet ve üretim yöntemlerinde de değişim yaşanmaktadır (Vuksanovic ve ark.,2016). Endüstri 4.0, makine, ekipman, üretim bileşenleri ve ürünler olmak üzere üretim sektörünün hemen hemen tamamı yerleşik algılama cihazlarıyla dijitalleşmekte ve bu değişim Endüstri 4.0'ın kendisinden önceki aşamalardan çok daha hızlı ve çok daha büyük bir etkiyle gelişmektedir (Tay ve ark., 2018). Endüstri 4.0 kavramı ya da gelişim süreci olarak adlandırılan bu süreç çeşitli şekillerde tanımlanmıştır.

Kegarmann ve arkadaşlarına (2013) göre; Endüstri 4.0: İletişim teknolojisinin gücü ve yenilikçi buluşlar kullanarak imalat endüstrisinin gelişimini hızlandırmaktır.

Qin ve arkadaşlarına (2016) göre; verilerin akıllı ve doğru bir şekilde toplanmasını sağlamak, karar vermede belirsizliği ortadan kaldırmak ve üretimde verimliliğini teşvik etmektir.

Schumacher ve arkadaşlarına (2016) göre; Endüstri 4.0'ın değer zinciri boyunca büyük ve ileri teknoloji ağıyla çevrili olması ve nesnelerin interneti, otomasyon, yapay zekâ ile üretim süreçlerinde yepyeni bir döneme kapı aralamasıdır.

Wang ve arkadaşları (2016) Endüstri 4.0'ı gelişen teknoloji ve makinelerin hızlı gelişimini tam olarak kullanmak ve endüstri düzeylerini iyileştirme ve küresel zorluklar ile başa çıkmak için bir araç olarak görmektedir.

Mrugalska ve arkadaşlarına (2017) göre; gelişmiş bir ağ yapısı ve yazılım ile makine ve araç sensörleri, iş planlaması, tahminde bulunmak ve kontrol etmek için kullanılabilir değer zincirinde yönetilebilir bir ürünün tüm döngüsüdür.

2.2. Endüstri 4.0 Kavramının Ortaya Çıkışı

Endüstri 4.0 kavramı Almanya'da ortaya çıkmış ve ilk olarak dünyanın en büyük Endüstri fuarı "Hannover Fair 2011"de kullanılmıştır (Avrupa Birliği Bakanlığı, 2018). Almanya'nın markası hâline gelen Endüstri 4.0 ilk kez 2011 yılında Kagermann, Lukas ve Wahlster tarafından kaleme alınan makale ile literatürde yerini almıştır. Nüfusun yaş ortalamasının yüksek olması ve jeopolitik konumu nedeniyle diğer ülkeler gibi enerji arz güvenliği riski taşıyan Almanya için Endüstri 4.0 geleceğe yönelik önemli bir aşama olmuştur.

Birinci sanayi devriminden ikinci sanayi devrimine geçiş süreci yaklaşık 86 yıl, ikinci sanayi devrimi ve üçüncü sanayi devrimi arasında geçen süre ise yalnızca 40 yıldır. Bu süre sanayideki gelişmelerin eskiye nazaran çok daha hızlı bir şekilde gerçekleştiğini ve üretim süreçlerinin kendisini durmaksızın göstermesi açısından ciddi önem taşımaktadır (Nuroğlu ve Nuroğlu, 2018).



Şekil 2.1. Geçmişten Günümüze Sanayi Devrimlerinin Kronolojisi (capital.com, 2018)

Her sanayi devrimi birçok yeniliği beraberinde getirmiştir. Endüstri 1.0'dan Endüstri 4.0'a kadar farklı dönemlerde ortaya çıkan önemli gelişmeler aşağıda sıralanmıştır.

1. Sanayi Devrimi: 18. yüzyılın sonlarında su ve buhar gücünün makinelerde kullanılması ile mekanik üretim ortaya çıkmıştır. Bu gelişme sonucu; 1784 tarihinde ilk mekanik dokuma tezgâhları üretim sürecinde yerini almıştır (Buharlı makineler).
2. Sanayi Devrimi: 20. yüzyılın başlarında elektrik enerjisinin kullanılması ile seri üretim geçilmiştir. Bu gelişme; 1870 tarihinde ilk montaj hattını ortaya çıkarmıştır (1840 Telgrafın ve 1880 Telefonun icat edilmesi, 1920 Taylorizm (Bilimsel Yönetim)).
3. Sanayi Devrimi: 1970 tarihi ve sonrası elektroniğin ve bilgi teknolojilerinin üretim süreçlerine dâhil edilmesi ile otomasyon sistemini daha ileri bir

seviyeye taşımıştır. Bu gelişme ile 1969 tarihinde ilk programlanabilir lojistik sistemleri ortaya çıkmıştır (1976 Apple ve 1971 ilk mikro bilgisayar).

4. Sanayi Devrimi: Endüstri 4.0 olarak da tanımlanan, canlı cansız her şeyin internet aracılığıyla bağlanarak, makine-insan, makine- makine ve diğer sistemler arasında iletişim kuran akıllı sistemlerin bütününe verilen bir kavramdır. Endüstri 4.0'a bağlı olarak 2000 yılı nesnelerin interneti (IoT), 2010 yılında hücresel taşıma sistemleri ön plana çıkarken, 2020 yılı için ise otonom etkileşim ve sanallaştırma gibi gelişmelerin ön plana çıkması beklenmektedir (Fırat ve Fırat, 2017b).

2.3. Endüstri 4.0'ın Genel Prensipleri

Endüstri 4.0, geleneksel üretim süreçlerindeki işletmelerin her aşamasının bilgi, iletişim ve internet teknolojileri ile birleştirilmesi olarak tanımlanmaktadır (Bortoloni ve ark.,2017). Endüstri 4.0'ın akıllı teknolojiler ile kullanılabilmesi ve geliştirilebilmesi (Kamber ve Bolatan, 2019), karşılıklı çalışabilirlik, sanal varlıklar ve sanallaştırma, otonom çalışabilme, gerçek-zaman yeteneği, insan makine etkileşimi ve modüler yapı olmak üzere altı maddeden oluşmaktadır. Bu unsurlar şu şekilde açıklanabilir;

Karşılıklı Çalışabilirlik: Siber fiziksel sistemler aracılığıyla makine ve bileşenlerinin internet üzerinden diğer makine ve insanlarla iletişim kurması işlevidir.

Sanal varlıklar ve sanallaştırma: Sayısal ikiz olarak tanımlanan bu yöntemde, fabrika veya sistemlerin sayısal bir benzerleri oluşturulur. Her türlü etkileşimin, analizin ve konfigürasyonun değişiklikleri sayısal model üzerinden denenir. Elde edilen sonuçların başarılı olması durumunda operasyon fiziksel sistemde uygulamaya alınır.

Otonom çalışabilme: Kendi kendine tanımlanan bu sistem, tüm süreci kendisi yönetebilmektedir.

Gerçek-Zaman yeteneği: Tüm süreçler gerçek zamanlı kontrol edilebilir ve denetlenebilir.

İnsan makine etkileşimi: Geliştirilmiş ara yüzler sayesinde makine ile insan arasındaki etkileşimin güvenli ve minimum güç sağlayarak yönetilmesidir.

Modüler yapı: Sistem bileşenlerinin ihtiyaca ve gelişen teknolojiye uygun olarak yeniden konfigüre edilmesidir (ATO, 2017).



Şekil 2.2. Endüstri 4.0 Prensipleri (www.isodijital.com)

Endüstri 4.0'ın temel prensipleri ise şu şekilde sıralanabilir;

Nesnelerin İnterneti: Bu prensip temelde, geleneksel yeteneklerinin üstünde akıllı ve diğer makinalar ile bağlantı kurabilen, hataları kendi içinde çözümleyebilmesine imkân sağlayan makinelerin internet sistemini ifade etmektedir (Hofmann ve Rüsch, 2017). Nesnelerin interneti ile makineler ve siber fiziksel sistemler küresel çapta dağıtılmış üretim alanlarına ve tedarikçilerin veri tabanlarına ulaşım imkânı sağlamaktadır (Davies ve ark., 2017). Örneğin

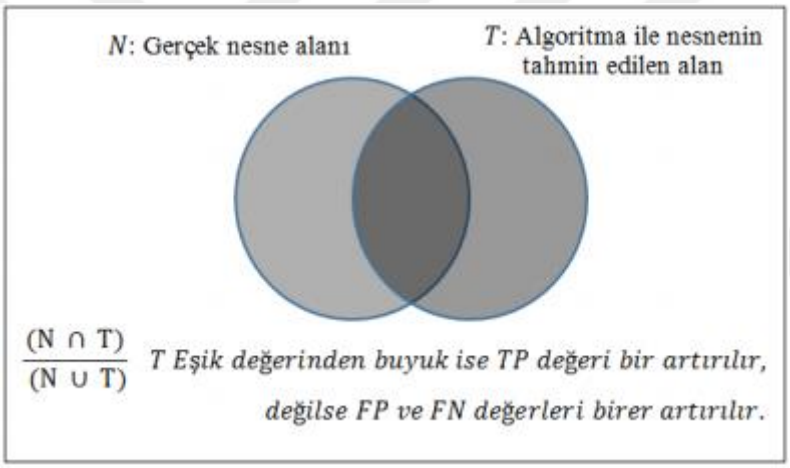
Mitsubishi firması, makineden makineye platform oluşturmuştur. Bu platform üzerinden farklı makineler ile bağlantı kurularak oluşturulan bütünleşik teknoloji sayesinde ultra modern nitelikte akıllı ürünler elde edilmiştir (EBSO, 2015). Nesnelerin interneti sayesinde nesne takibi yapılabilir ve istenen sonuçlar hızlı ve kolay bir şekilde yorumlanabilir. Bu sonuçların analiz edilmesinde en çok kullanılan yöntemlerden bir tanesi hassasiyettir (Precision). Bu yöntem video üzerinden çalıştırılmakta ve bulduğu nesnenin doğru nesne bulma oranı olarak tanımlanmaktadır. Sistemin bir diğer başarı ölçme yöntemi ise anımsamadır (Recall). Kullanılan yöntemde algoritmanın tespit ettiği nesnelerin kaç tanesinin doğru nesne olduğunu belirtmektedir. Bu yöntemlerin hesaplanmasında şu değerler kullanılmaktadır; False Pozitif (FP), True Pozitif (TP), False Negatif (FN), True Negatif (TN) (Wu Y ve ark., 2013).

Çizelge 2.1. True Pozitive (TP), False Pozitive (FP), False Negative (FN), True Negative (TN) değerlerlerin hesaplanması (Kanbay ve Üzen, 2017)

	Gerçek Değer: Nesne var	**Gerçek Değer: Nesne yok**
Algoritma Tahmini: **Nesne var**	TP	FP
Algoritma Tahmini: **Nesne yok**	FN	TN

TP: Algoritmanın nesne olarak tespit ettiği ve nesnenin olduğu durum sayısını, FN: Algoritmanın nesne olarak tespit edemediği ancak nesne olduğu durum sayısını, FP: Algoritmanın nesne olarak tespit ettiği ancak ne olmadığı durum sayısını, TN: Algoritmanın nesnel olarak tespit edemediği ve nesnenin de olmadığı durum sayısını ifade etmektedir. Kullanılan algoritma nesne veya nesneleri tam olarak bulamayabilir. Bu tür durumlarda nesne bulunma durumu kabul edilip kabul edilmeme durumu dört adımda hesaplanır.

1. Adımda: Algoritmada nesne ile nesnenin bulunduğu alanın kesişiminden elde edilen lokasyonun piksel sayısı hesaplanır (N ∩ T).
2. Adımda: Algoritmada nesne olarak tespit edilen alan ile nesnenin gerçekten bulunduğu lokasyonun birleşimi sonucu elde edilen noktanın piksel sayısı hesaplanır (N ∪ T).
3. Adımda: Kesişen nokta birleşim noktasına bölünür.
4. Adımda: T eşik oranı elde edilen oran ile karşılaştırılır. Eğer oran T değerinden büyük ise yapılan tespit kabul edilir (TP artılır), büyük değilse reddedilir (FN ve FP değerleri artırılır) (Şekil 2.3).



Şekil 2.3. Kesişim durumunda FN, FP ve TP değerlerin hesaplanması (Hanbay ve Üzen, 2017)

Precision ve Recall *FP, TP, FN, TN* değerleri Eşitlik 2.1 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \qquad Precision = \frac{TP}{TP + FP} \tag{2.1}$$

1 Nolu formülde belirtilen performans ölçme kriterleri nesne takip algoritmalarının son aşamasından elde edilen doğrulukları ifade etmektedir (Hanbay ve Üzen, 2017).

Akıllı Fabrikalar: Bu kavram Endüstri 4.0 ile ortaya çıkmış bir paradigmadır. Akıllı Fabrikalar gerçek zamanlı, etkin ve doğru mühendislik kararlarının alınabilmesi için ihtiyaç duyulan bilgi ve iletişim teknolojilerinin toplanarak var olan üretim teknolojileri ile bütünleşmesidir (Kamber ve Bolatan, 2019).

Akıllı Robotlar: Robot terimi kavramsal olarak, ortaya çıktığı andan itibaren, yardım almaksızın hareket edebilen belirlenmiş bir sistem içinde düşünebilen makine olarak tanımlanmış ve hayatımıza girmiştir (Okutan, 2006).

Yatay Entegrasyon: Planlama ve üretim aşamasında her bir adımın kendi arasında ve farklı işletmeler arasında da aynı şekilde yaşanan kesintisiz akışı ifade etmektedir. Yatay entegrasyon tasarımdan hammadde tedarikine, pazarlamaya, üretime, sevkiyata kadar her noktanın bütünleşik ve uçtan uca bağlantı kurmasıdır (Gönen ve ark., 2021). Yatay entegrasyon, işletmelerin, piyasadaki belirsizliğin azaltılması ve Ar-Ge çalışmalarına yönelebilmeleri için tercih edilmektedir. Aynı zamanda risk oranı düşük olmasından dolayı genellikle riskli yatırımlarda bulunan işletmeler tarafından tercih edilmektedir (Brettel ve ark., 2014).

Dikey Entegrasyon: Aynı pazarda bulunan ancak farklı alt sektörlerde bulunan organizasyonların birleşmesidir (Yüksekbilgili ve Çevik, 2018). Dikey entegrasyon, yalnızca süreçler arasında olmayıp, tüm süreçlerde kullanılan teknolojik altyapının kesintisiz iletişimini ve akışını ifade etmektedir. Örneğin üretim faaliyetlerinde kullanılan, motorlar, vanalar, kumanda panelleri, iş zekâsı uygulamaları gibi unsurlar bu kapsamda değerlendirilebilir (Yıldız, 2018).

Yapay Zekâ: Bu kavram çok geniş bir bilim dalını temsil etmekle birlikte bilgisayarların insan zekasını ihtiyaç duyulan durumları yerine getirmesi ile ilgili araştırmalar bütününü oluşturmaktadır. Diğer bir deyişle insanlar tarafından

yapılan davranışların makinelerce gerçekleştirilmesidir. Yüz tarama sistemi ile kişi seçiminin yapılması bu kavrama örnek gösterilebilir (Okutkan, 2006).

Siber Güvenlik: Siber güvenlik, veri güvenliğinin kontrol altında tutulmasını sağlamak amacıyla kullanılmaktadır. Siber güvenliğin sağlanamadığı durumlarda veri ve bilgi kaybı yaşanabilir. Bu nedenle siber güvenlik sistemleri şirketlerin, işletmelerin, organizasyonların güvenliğini sağlayarak fiziksel iletişimin sağlıklı bir şekilde sürdürülebilirliği açısından önemlidir (Bulut ve Akçacı, 2017).

Katkı Yaratan (Eklemeli) Üretim: Özel ekipmanlara ve inşaat malzemelerine gerek kalmadan bir ürünün veya bir bileşeninin üretilmesidir. Ürün için gerekli olan bileşenler ve bağlantı ekipmanlarının, esnek ve geniş bir ölçekte üretim sağladığı için bu model üretimde kişiselleştirmeyi kolaylaştırmaktadır. Katkı yaratan üretim modeline 3D yazıcılar örnek verilebilir (Jabbour, 2018).

Artırılmış Gerçeklik: İnsanların yeteneklerini arttırmak için gerçek dünyadaki nesneler hakkındaki dijital verileri görüntü olarak üst üste bindiren bir teknolojidir. Artırılmış gerçeklik ile sanal varlıklar bir arada yer almaktadır (Banger, 2018).

Büyük Veri (Big Data): Bu kavram, bilgi ve iletişim teknolojilerinde yaşanan gelişme ile birlikte ortaya çıkmıştır. Büyük veri, geleneksel anlamda veri tabanı yönetim sistemlerinin işlem kapasitesinin üstünde, yüksek hacim, çeşitli verilerin saklandığı, içindeki bilgilere erişimi, analizi ve anlamlandırılması; toplanan bütün verilerden bilgiyi çıkarma süreci olarak tanımlanmaktadır (Dülger, 2016).

Siber Fiziksel Sistemler: Fiziksel süreçleri, iletişimi ve bilişsel mekanizmaları bilgi teknolojisinden faydalanarak yöneten ve takip eden sistemler olarak tanımlanabilir (Banger, 2017).

Simülasyon: Bu kavram, teknik anlamda fiziksel bir sistemin işletilmesinin zaman üzerinden benzerinin yapılması olarak tanımlanmaktadır.

Bulut: Mevcut olan tüm program, uygulama ve verilerin sanal bir ortamda yani bulutta toplanması veya depolanmasıdır.

İhtiyaç duyulması durumunda internet bağlantısı ile ortamda bulunan cihazlar aracılığıyla verilere ve bilgilere ulaşımın sağlanabildiği hizmetler bütünüdür (EBSO, 2015).

2.4. Endüstri 4.0 Kapsamındaki Önemli Teknolojiler

Gartner'ın 2017 yılı için öngördüğü rapora göre stratejik öneme sahip 10 teknoloji trendinin ilk beşini sırasıyla; yapay zekâ ve ileri makine öğrenmesi, akıllı uygulamalar, akıllı nesneler, sanal ve arttırılmış gerçeklik ve dijital ikiz olarak yer almıştır (Gartner, 2016). Dördüncü Sanayi Devrimi Kapsamında Gelişen ve Küresel Riskler Raporu'na göre Endüstri 4.0'ın getirmiş olduğu önemli teknolojiler ve küresel riskler; ekonomik, çevresel, sosyal, jeopolitik ve teknolojik olmak üzere beş başlık altında toplanmıştır (WEF, 2017).

Çizelge 2.2. Endüstri 4.0 Kapsamında Önemli Teknolojiler (WEF,2016)

Önem Derecesi	Ekonomik	Çevresel	Sosyal	Jeopolitik	Teknolojik
1	Yapay Zekâ ve Robotik	Jeomühendislik	Uzay Teknolojiler	Yapay Zekâ ve Robotik	Yapay Zekâ ve Robotik
2	Yeni Hesaplama Teknolojileri	Enerji elde etme, depolama ve iletişim	Enerji elde etme, depolama ve robotik	Sanal ve Artırılmış Gerçeklik	Yeni Hesaplama Teknolojileri
3	Blockchain Defteri	Biyoteknolojiler	Yapay zekâ ve robotik	Biyoteknolojiler	Bağlantılı Sensörler
4	Enerji elde etme, depolama ve iletişim	İleri malzemeler ve Nano malzemeler	Jeomühendislik	Bağlantılı Teknolojiler	Sanal Artırılmış Gerçeklik
5	Bağlantılı Sensörler	Uzay Teknolojiler	Yeni Hesaplama Teknolojileri	Neroteknolojiler	Neroteknolojiler

Bu teknolojilerin tamamına yakını anlık veri elde etme ve işleme, elde edilen verilerin hızlı bir şekilde analizini sağlama, yapılan analiz ve sonuçlara göre aksiyon geliştirme yönünde kapasiteye sahip teknolojilerdir. Bu teknolojilerin tamamının yazılım tabanlı olması ve yapay zekâ ile yönetilebilir olması, robot veya benzeri makineler ile iş yapabilmesine imkân sağlamaktadır (Fırat ve Fırat, 2017a).

2.5. Endüstri 4.0'ın Uygulandığı Alanlar

Endüstri 4.0 ve getirmiş olduğu teknolojilerin büyük çoğunluğu bugüne kadar olan endüstri atılımlarının devamı niteliğinde olup bundan önceki üç sanayi devriminin geliştirilerek bugünün ve yarının dünyasına uyarlanmış şekli olarak ifade edilebilir.

Endüstri 4.0 yaklaşımı birçok konuyu içermekte ve farklı sistemlere sahip bazı teknoloji alanlarını da kapsamaktadır. Bu teknolojilerin uygulama alanı olarak; ileri görüş teknolojileri, insan bedenine yerleştirilen teknolojiler, gelişmiş mobil teknolojiler, giyilebilir internet, nesnelerin interneti, yapay zekâ ve robotik teknolojiler, 3D yazıcılar vb. örnek gösterilebilir (Soylu, 2018). Bu uygulamalardan bazıları Çizelge 2.3'te belirtilmiştir.

Çizelge 2.3. Endüstri 4.0 ve Kullanım Alanları (Emmrich ve ark., 2015)

Gölge Bilgi İşlem	**CPS Yerleşik Sistem**	**Akıllı Fabrika**
➢ Uygulamalar ➢ İPv6 ➢ Big Data ➢ Gerçek zamanlı veriler	➢ Sensörler ➢ Akıllı ürünler ➢ Makineden makineye	➢ Tak ve üret ➢ Sosyal makineler ➢ Sanallaştırma ➢ Düşükmaliyet otomasyonu ➢ İnsan-makine bağlantısı

Bilgi teknolojileri ve internet, ekonomilerin şekillenmesinde etkili olan iki önemli faktördür. Bu unsurlar ile nesnelerin internet (IoT) yapısı genişletilebilir. Böylelikle hem fiziksel sistemlerin hem de sistemlerin internet ve ağ tabanlı yazılımları sayesinde hizmetlerin geniş alanlara yayılması imkânı sağlanır (Emmrich ve ark., 2015). Endüstri 4.0 işletmelerin ekonomik başarı, rekabet veya inovasyon kabiliyetini artırmakla birlikte iş yaşamına uyum, kaynak verimliliği, yaratıcı çalışma gibi faktörlerde de olumlu sonuçlar doğurması beklenmektedir (Derya, 2018).

2.6. Endüstri 4.0'ın Geleceği ve Etkileri

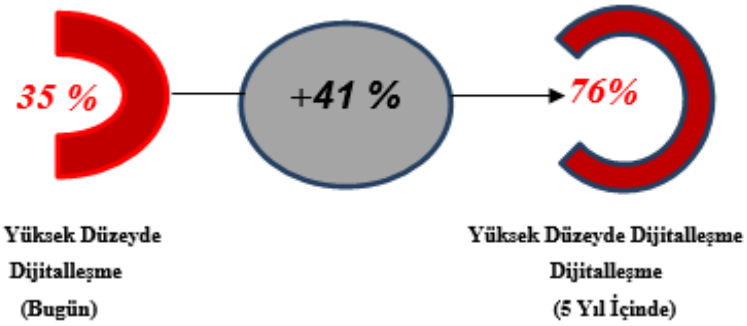
Endüstri 4.0'ın ana hedefi kendi kendini yönetebilen üretim süreçlerinin endüstride hayata geçirilmesidir. Bu dönem geçmişte yaşanmış üç sanayi devriminden farklı olarak bilginin aritmetik olarak değişime uğradığı bir süreci temsil etmektedir. Endüstri devrimlerinin her biri, insanoğlunun ihtiyaç duyduğu ihtiyaçlar sonucu ortaya çıkmış, özek ve profesyonel yaşamda ciddi kolaylıklar sağlamıştır (Çırakoğlu ve ark., 2019).

Kestirimci bakım teknolojileri, üretimde yaşanan esneklik, yeni hizmet ve iş modellerinin geliştirilmesi, verimliliğin artması (Selek, 2016), uzaktan izleme ve kontrol sistemler, makine-insan-robot iş birliği gibi unsurlar teknolojinin sürece katkılarındandır.

Nitelikli çalışanların azlığı, uluslararası standartların yetersizliği, ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, Network altyapısında yaşanan yetersizlikler, Ar-Ge faaliyetlerinde ve özendirmede yaşanan yetersizlikler (Soylu, 2018), karmaşık üretim süreçleri ve yeni riskler ise teknolojinin getireceği yeni belirsizlikler olarak ortaya çıkması beklenmektedir.

2.7. Ülkemizde ve Bazı Ülkelerde Endüstri 4.0'a Yönelik Yapılan Hazırlıklar

Gelişmiş bazı ülkeler, başta Almanya olmak üzere ucuz iş gücü nedeniyle sabit yatırımlarını Asya ülkelerine yapmışlardır. Ancak Avrupa ekonomisinde yaşanan rekabet gücü düşüklüğü, işsizlik ve makroekonomik gibi sorunların çıkış yolu olarak Endüstri 4.0'ı görmekte (Türk ve ark., 2014) ve sermayelerini kendi ülkelerine kaydırarak bu süreci avantaja çevirme düşüncesindedirler. Bu nedenle dijitalleşme sürecine geçiş yapmayı planlayan bazı ülkeler sürecin nasıl olması gerektiği konusunda çalışmalar yapmaya başlamışlardır. 26 ülkenin katılımıyla yapılan bir araştırmaya göre önümüzdeki beş yıl içinde dijitalleşen işletme oranının %41 oranında artması beklenmektedir (Şekil 2.1) (Industry 4.0, 2016).



Şekil 2.4. Endüstri 4.0 Gelişimi (Industry 4.0, 2016)

Araştırmalar sonucu küresel boyutta Endüstri 4.0'ın entegrasyonu ile ilgili öngörü aşağıda belirtilmiştir (Çizelge 2.4).

Çizelge 2.4. Yeni Sanayi Devrimi: Akıllı Üretim Sistemleri Teknoloji Yol Haritası (TÜBİTAK, 2016)

Yıl	Öngörü
2018	✓ Üretim sistemlerinde kullanılmak üzere yaklaşık 3 milyon robot kullanılacak ✓ Birbirine bağlı olan cihaz sayısının 13 milyardan 29 milyara çıkması
2020	✓ Nesnelerin İnternetin pazarı 656 milyar dolardan 1.7 Trilyon dolara artması
2025	✓ Sanayi robotlarının ekonomiye yansıması yıllık 0.6-1.2 Trilyon dolara yükselmesi ✓ Gelişmiş ekonomilerin üretim süreçlerinin yaklaşık %15-25 oranının otomasyon sistemleri ile gerçekleşmesi
2030	✓ Küresel ticaret hacminin yarısında akıllı nesnelerin kullanılması ✓ Dijitalleşen teknolojilerin gelir dağılımı, verimliliği ve çevre üzerindeki etkilerinin artması

Avrupa'da bazı işletmelerin Endüstri 4.0 ile uyumlu yatırımları incelendiğinde, Batı Avrupa'da büyük çapta işletmelerin %77'si dijital sanayi yatırımları yaparken, Doğu Avrupa'daki firmaların yalnızca %5'i dijital sanayi

yatırımı yapmaktadır. Bu gelişmeyi takip eden Kuzey Amerikalı işletmelerin %7'si, Güney Amerika'daki firmaların ise %2'si bu kapsamda yatırımlar yapmaktadır. Asya'da ise bu yönde yatırım yapan firmaların oranı %7'dir (Geissbauer ve ark., 2017). Endüstri 4.0'ın önemini farkeden bazı ülkeler bu sürece hazırlıklı olmak amacıyla birtakım stratejiler geliştirmeye başlamıştır. Örneğin, Almanya'nın bu konuda hazırlamış olduğu stratejiler için Alman Federal Eğitim ve Araştırma Bakanlığı'nın koordinasyonluğunda 20 milyar dolarlık bir bütçe oluşturulmuştur (Türk ve ark., 2014).

İngiltere ise yeni süreç için hazırladığı vizyon raporunda, üç sistemik alanda hareket edilmesi gerektiğini belirtmiştir. Bunlardan birincisi, sektöre daha net bakış açısı kazandırarak yeni zekâ biçimlerini kullanmayı sağlamaktır. İkincisi, Endüstri 4.0 ve getirmiş olduğu yenilikleri kullanılması planlanan alanlarda daha anlaşılır hale getirmek ve üreticileri desteklemektir. Üçüncüsü ise, kurumsal yetenekleri yeni sürece uyarlamak ve inşa etmektir. Ancak Endüstri 4.0 ve beraberinde getirmiş olduğu rekabet ortamı için avantaj sağlamak tek başına yeterli olmayabilir. Bu gelişimi sürdürülebilir kılmak için sanayi tecrübesi ve teknik donanıma sahip uzmanlar görevlendirilmeli ve pilot çalışmalar ile sürecin desteklenmesi gerekmektedir. ABD ve Avustralya'da bu süreci destekleyici ofisler kurulmuştur (Bağcı, 2018). ABD ve Avrupa'da olduğu gibi Japonya'da da benzer ve yeni döneme yönelik birtakım çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. Bu çalışmalar özellikle demografik değişimlere ve sosyal sorunlara yönelik olmuştur. Yaşlanan işgücü göz önünde bulundurularak yeni teknolojik uygulamalar yaşlı çalışan nüfus göz önünde bulundurularak geliştirilmeye çalışılmaktadır. Yapılan çalışmalarda sürdürülebilir bir büyümenin, toplumsal değişime uygun ve yeşil inovasyonla olabileceği vurgulanmıştır (Council for Science & Technology, 2010). Bu ülkelerin dışında Çin ve Güney Kore gibi ülkelerin de Endüstri 4.0'a yönelik çalışmaları bulunmaktadır.

Şekil 2.5'te Dünya genelinde bazı ülkelerin dijital dönüşüm durumları görülmektedir. Buna göre;

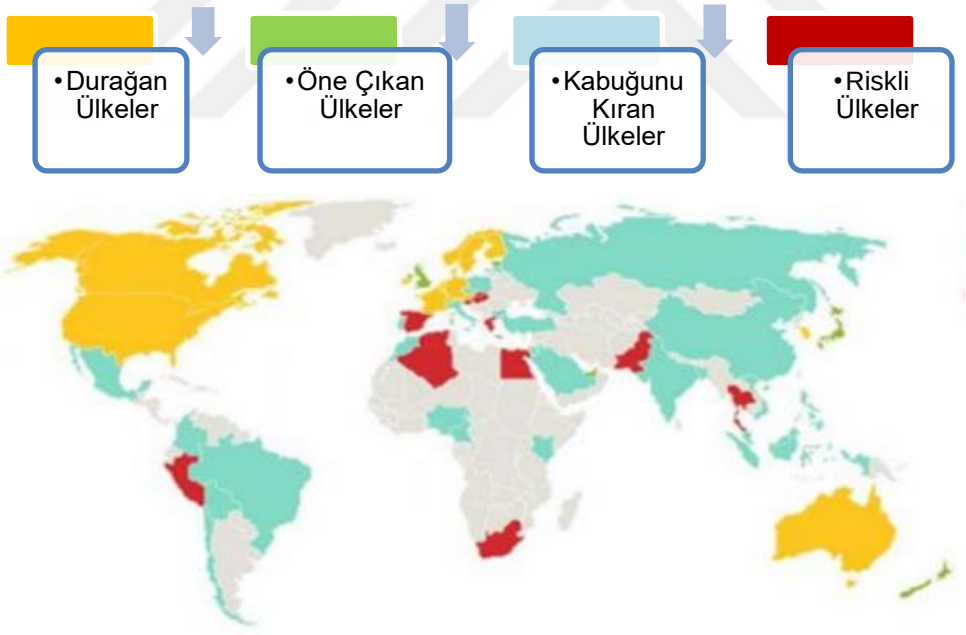
Durağan Ülkeler; Güney Kore, Avustralya, İskandinav ülkeleri, ABD, Almanya ve Kanada'dır. Bu ülkeler geçmişte büyük büyüme oranına sahip iken

günümüzde ise ivme kaybeden ülkelerdir. Geleceğe dönük yenilikler yapılmadığı takdirde bu ülkelerin geri kalma oranı yüksektir.

Riskli Ülkeler; Peru, Pakistan, Güney Afrika ve Mısır'dır. Bu ülkelerin dijital gelişimleri ve büyüme oranları düşük olduğundan yeni süreçte zorlanmaları beklenmektedir.

Öne Çıkan Ülkeler; İngiltere, Singapur, Birleşik Arap Emirlikleri, Hong Kong, İsrail, Japonya, Estonya'dır. Bu ülkeler yüksek büyüme oranları ve dijital gelişimler göstermekle birlikte yenilik ve gelişime öncülük eden ülkelerdir.

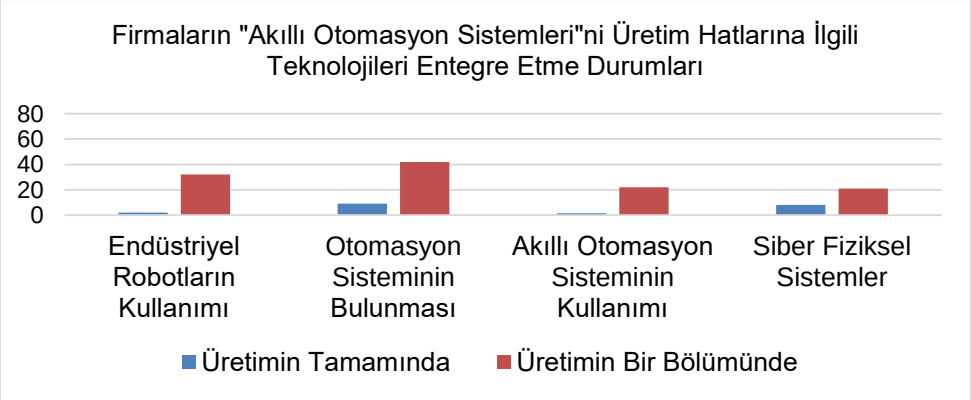
Kabuğunu Kıran Ülkeler; Malezya, Çin, Filipinler, Kenya, Hindistan, Rusya, Kolombiya, Şili, Brezilya, Türkiye ve Meksika'dır. Bu ülkeler diğer ülkeler ile karşılaştırıldığında daha düşük dijital gelişim seviyesine sahiplerdir. Ancak hızlı ivme göstermeleri ve gelişime açık olmalarından dolayı yatırımcılar için cazip olan ülkelerdir (Sağbaş ve Gülseren, 2019).



Şekil 2.5. Dünya'da ve Türkiye'de Dijital Dönüşüm (Sağıroğlu, 2018)

Türkiye'nin jeopolitik konumu geçmişten günümüze iktisadi açıdan büyük önem taşımakta ve ülkemize dinamik bir yapı kazandırmaktadır. Bu nedenle Türkiye Endüstri 4.0 sürecinden etkilenmekte ve bir o kadar yeni dönemi yakalaması zorunlu hale gelmektedir (TÜSİAD, 2016). Türkiye Endüstri 4.0 yönelik şu ana kadar çok fazla yol kat edebilmiş değildir. Gelişmiş ülkelerin birçoğu 2013 yılından itibaren yeni süreç ile ilgili çalışmalara başlamıştır. Türkiye'de gerçek anlamda ilgi 2015 yılından sonra başlamıştır. Konu ile ilgili 2016 yılında TÜSİAD, Samsung Türkiye, Deloitte Türkiye ve GFK Türkiye'nin iş birliği ile "Türkiye'deki Dijital Değişime CEO Bakışı" adlı raporda, Türkiye'de faaliyet gösteren 58 üst düzey yönetici ile mülakat gerçekleştirilmiştir. Araştırma sonucunda; katılımcılar, net ve anlaşılır bir stratejiye sahip olmanın dijital olgunlaşmanın önündeki en büyük engellerden biri olduğunu, bu engelin ise stratejinin eksikliğinden kaynaklandığını belirtilmişlerdir. Yine yapılan bir başka çalışmada Perakende, Holding, Bankacılık, Hızlı Tüketim ve Telekomünikasyon gibi büyük ve önemli kuruluşların üst düzey yöneticilerine çalıştıkları kuruluşların dijital stratejilerinin çalışanlar tarafından anlaşılıp anlaşılmadığı ile ilgili soruya; anlaşılma oranının %66 olduğu tespit edilmiştir. Bahse konu ile ilgili şirket yöneticilerinin yetkinliklerinin oranı %7'si giriş, %59'u gelişmekte olan, %34'ü ise gelişmiş bir dijital yapıya sahip olduklarını belirtmişlerdir. Araştırmada dikkat çeken bir diğer husus ise yatırımların ne kadarını dijitalleşmeye ayırdıkları olup bu soruya da verilen cevap ise ortalama %27 olmuştur (Yüksekbilgili ve Çevik, 2018).

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı tarafından 2023 Sanayi ve Teknoloji Stratejisi hazırlanmıştır. Bu belge Türkiye'nin "Milli Teknoloji Güçlü Sanayi" vizyonunu geliştirmede yol haritası olup beş stratejik adımdan oluşmaktadır. Bu adımlar başlıca; altyapı, yüksek teknoloji ve inovasyon, dijital dönüşüm ve sanayi hamlesi, girişimcilik ve beşerî sermayeden oluşmaktadır (Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı, 2019). Şekil 2.6'da Türkiye'de dijital teknolojilerin üretime entegrasyonu görülmektedir (Sağıroğlu, 2018).



Şekil 2.6. Türkiye'de Dijital Teknolojilerin Üretime Entegrasyonu

Türkiye'deki sektör verileri, şirketlerden elde edilen bilgiler ve doğrulamalardan faydalanılarak BCG (Boston Consulting Group) tarafından geliştirilen bir modele göre; Türkiye'de Endüstri 4.0'ın geleneksel üretim modellerine başarılı bir şekilde entegre edilmesi ile üretim sektöründe verimliliğin %4-7 artış yaşanacağı ve bu artışın yaklaşık 50 milyar TL'ye varan bir katkı sağlaması beklenmektedir. Yalnızca dönüşüm maliyetleri dikkate alındığında verimlilik artışının %5-15 arasında olması tahmin edilmektedir. Dijital dönüşümün üretim süreçlerine entegre edilmesi ile; tekstil sektöründe %10-16, beyaz eşya sektöründe %9-14, kimya sektöründe %8-12, yiyecek ve içecek sektöründe ise %10-16 oranında verimlilik artışı beklenmektedir. Bu artışlardan ise yaklaşık 150-200 milyar TL düzeyinde ek gelir elde edilmesi beklenmektedir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin Türkiye'de sanayi sektörüne entegresi ile önümüzdeki on yıl içinde yaklaşık 10 -15 milyar TL yatırım yapması gerektiği öngörülmektedir (TÜSİAD ve Boston Consulting Group, 2016).

Endüstri 4.0'ın üretim alanında yakalamış olduğu geniş potansiyeli evrensel alanda henüz yakalayabilmiş değildir. Makineler arasında iletişim nedeniyle ortaya çıkabilecek güvenlik sorunlarının halen belirsizliğini koruması, uzun süredir aktif olarak kullanılmayan tesis/işletmelerin bilgi teknolojileri'ne (IT) ilişkin güvenlik sorunlarının halen tartışma konusu olması, kullanıcıların yapay

zekanın mevcut altyapı sistemleri ile kesintisiz şekilde çalışabildiğine şüphe ile yaklaşmaktadır. Aynı zamanda yeni süreç ile işletme/fabrika/üretim alanlarında aktif olarak devreye sokabilecek mühendislerin yeterli teknik beceriye sahip olmayışı, düşük vasıflı ve eğitimsiz çalışanların toplu olarak işten çıkarılacağına yönelik bakış açısına sahip olmaları bu sürecin önündeki en önemli (Durmuş, 2019) sorun olabileceği düşünülmektedir.

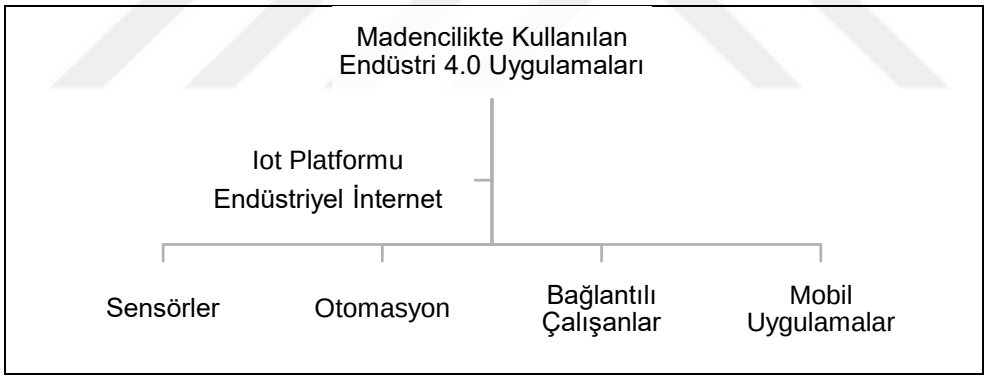
2.8. Endüstri 4.0'ın İş Güvenlik Boyutu

Dünya genelinde tüketim mallarına olan ilginin gün geçtikçe artış göstermesi sürdürülebilir bir üretim türüne duyulan ihtiyacın yani Endüstri 4.0'ın ortaya çıkmasına neden olmuştur. Endüstri 4.0 otomasyon ve bilgisayarlaşmanın üretim süreçlerinde etkisinin artması endüstriyel üretimi daha verimli, daha esnek ve daha kaliteli hale getirdiği gibi çalışan sağlığı ve güvenliğini de olumlu yönde etkilemesi beklenmektedir (Leso ve ark., 2018). Akıllı ve taşınabilir cihazların kişisel koruyucu donanımlara entegre edilerek RF, GPS, Wi-Fi, sensör gibi iletişim yollarını kullanarak verilerin anlık toplanması ve analiz edilebilmesi bu sürecin destekleyici unsurları olarak gösterilebilir. Böylelikle riskli alanlarda akıllı iş kıyafetleri, iş sağlığı ve güvenliği alanında uzman kişilerin desteği, güvenli çalışma koşullarını sağlamaya yardımcı olabilir. Örneğin, ısı kaynaklarını algılayabilen termal kameralar, radyasyon algılayıcı sensörler ve hava kalitesini ölçebilen cihazlar ile çalışma ortamı hakkında anlık bilgi sağlanabilir. Ayrıca simülasyon bazlı oyunlar sayesinde çalışanların sanal ortam aracılığı ile kritik durumlara verdiği tepkiler ve aldıkları tedbirler maddi anlamda kayıp yaşanmadan ölçülebilir (Indra, 2019). Bu süreç aynı zamanda çalışanların üretim alanlarındaki rollerinin hızla değişmesini ve geçmişte ihmal edilmiş olan birtakım becerilerin kazanılarak geliştirilmesi ve güncel teknolojik uygulamalara uyum sağlamasını gerektirecektir (Bragança ve ark., 2019). Bu durum çalışanların diğer alanlardaki rollerine uyumlu ve daha vasıflı hale gelebilmeleri için çalışanların eğitim almalarını ve bu konuda destelenmelerini zorunlu hale getirmektedir (Matysek ve Fisher, 2016). Endüstri

4.0 baskın gerçeklik haline geldiğinde, iş sağlığı ve güvenliği (İSG) yönetimi üzerinde etkisi olacak yeni paradigma kaymaları getirecektir (Badri ve ark., 2018).

2.9. Endüstri 4.0 ve Madencilik Teknolojileri

Madencilik endüstrisi uzun bir teknolojik inovasyon geçmişine sahiptir. Özellikle metal ve minerallerin kazanımında geçtiğimiz yüzyılda bazı değişimler yaşanmıştır. Bu değişimleri yakından takip eden birçok maden şirketi verimliliği artırmak için yeni ve uygulanabilir teknoloji arayışına girmiştir. Madencilik endüstrisi yenilikçi ve teknolojik gelişmelere direnen bir işkoludur. Bunu en önemli nedenleri; maden fiyatlarında yaşanan belirsizlikler, büyük ölçekli ve uzak yerlerde çalışmak, madencilik faaliyetlerinin kendine özgü çalışma şartları, çalışan ve çevre güvenliği gibi hususlar yeniliklere karşı gelenekçi uygulamaları daha baskın hale getirebilmektedir (Karapınar, 2018).



Şekil 2.7. Madencilik Sektörüne Entegre Edilen Bazı Endüstri 4.0 Uygulamaları

Şekil 2.7'de madencilik sektöründe kullanılan bazı Endüstri 4.0 uygulamaları görülmektedir. Bu teknolojilerden gerçek zamanlı konumlandırma sistemi üç veya daha fazla RFID okuyucu kullanılarak birden fazla algoritma ile çalışabilmektedir Trilateration, Guassion algoritması, oran-orantı algoritmaları gibi farklı hassasiyetlerde bile olsa gerçek zamanlı konumlandırma amacıyla geliştirilmiş ve kullanılmıştır. Ancak bu işlemin yeraltı madencilik

uygulamalarında hayata geçirilmesi ve tek okuyucu kullanılarak konumlandırılması çoğu zaman zor ve doğruluk hassasaiyeti düşük olabilmektedir. Çavur (2017) yapmış olduğu bir çalışmada bu sorunun üstesinden gelebilmek verilerin doğru ve hassasiyetinin yüksek olması amacıyla tüm yeraltı madenini RFID etiketler ve RSSI (alınan sinyal gücü) değerlerine göre sinyal haritası oluşturmuştur. Madenin belirli noktalarını referans noktası kabul etmiştir. Seçilen noktadan itibaren oluşan sinyasin bir sonraki okuyucuya kadar olan kısımıda dahil olacak şekilde bir harita oluşturmuş ve her noktadan alınan sinyal sıklığını tespit etmiştir. En sık tekrar edilen sinyali o noktanın sinyal indeksi olarak tanımlamıştır. Aynı sinyal gücü alındığında o sinyal gücünün hangi lokasyonu temsil ettiği bilinmekte olup aynı sinyalin farklı nokta hatası için iki filtre uygulamıştır. Uygulanan birinci filtre komşuluk sorgusu için diğeri ise alınan sinyalin okuyuculara olan mesafesine göre yerleştirilmesidir. Bir sinyalin birçok noktada aynı değeri vermesi durumunda öncelikle o noktanın daha önceki sinyal noktası sorgulanarak o sinyalin hangi lokasyona ait olduğu tespit edilir. Diğer filtre ise gelen sinyalin hangi doğrultuda ilerdiğini belirlemektedir. Konumlandırma için kullanılan algoritma Eşitlik 2.1'de belirtilmiştir.

$$p_t = f(\boldsymbol{r_t}, d_t, \boldsymbol{v_{t-1}}, p_{t-1}) \quad (2.1)$$

p_t : t anındaki konum bilgisi

r_t : t anındaki RSSI bilgisi

d_t : t anındaki sinyal gönderen okuyucu bilgisi

v_{t-1}:t-1 anındaki hız bilgisi

p_{t-1}: t-1 anındaki konum bilgisi

v_{t-1} ve p_{t-1} bilgisi ve maden haritası dikkate alınarak olasılık fonksiyonu elde edilir.

$$X1 = X_c(\boldsymbol{v_{t-1}}, p_{t-1})$$

r_t ve d_t verileri dikkate alınarak olasılık yoğunluk fonksiyonu çıkartılır.

$X2 = X_{\boldsymbol{n}}\ (\boldsymbol{r_t},\ d_{\boldsymbol{t}})$

$p_t = Pmaks[X] = pmaks\ [X1 * X2]$

$p_t = Pmaks \int X_{\boldsymbol{c}}\ (\boldsymbol{v_{t-1}},\ p_{\boldsymbol{t-1}}) * X_{\boldsymbol{n}}(r_{\boldsymbol{t}}\ ,\ d_{\boldsymbol{t}})$

İki yoğunluk haritası birleştirilir daha sonra mevcut yoğunluk haritasına göre en yüksek olasılıklı olan nokta pt ‘olarak belirlenir (Çavur, 2018). Yapılması planlanan çalışmanın niteliği dikkate alınarak yukarıda belirtilen algoritma farklı şekilde kullanılanılabilir.

Endüstri 4.0’ın gelişmesi, madencilik endüstrisindeki verimlilik artışını ve madencilik kaynaklarının tükenmeye karşı mücadele edebilmesi açısından önem taşımaktadır. Bu süreçte eski üretim yöntemlerinin yerine yeni, güncel ve teknolojik uygulamalar ile maden verimliliğinin artışı hedeflenmektedir. Bu noktada madencilik faaliyetlerinin her yönüyle gerçek zamanlı bilgi üretiminin sağlanması, hata anlama ve çözümünün en aza indirilmesi, enerji tasarrufunun sağlanması, çalışan güvenliğinin ve üretim verimliliğinin arttırılmasına odaklanmaktadır (Humphreys, 2019).

Günümüz teknolojisinin en önemli aracısı olan bilgisayar kullanımı madencilik sektöründe de hızlı bir şekilde yerini almış olması bu gelişimi gün geçtikçe daha da verimli hale getirmiştir. Madencilik sektöründe yüksek teknolojinin kullanımı; mekanizasyon, uzaktan kumanda, otomasyon ve robotlaşma aşamalarından oluşmaktadır.

Mekanizasyon*;* madencilik sektöründe ilk mekanik kazı uygulamaları cevherin yapısından özelliklerinden dolayı kömür madenciliğinde gerçekleşmiştir. 1850 yıllarında İskoçya’da dökme demirin kesici uç olarak basınçlı hava ile kullanılmaya başlaması, beden gücü ile çalışan işçilerin ve patlayıcı maddenin kullanılmadığı, cevherin kazılarak yüklemenin yapıldığı kesici-yükleyici makinelerin üretilmesi ile gelişim göstermiştir (Kızıl ve ark., 1995).

Uzaktan kumanda; makinaların belirli mesafelerden uzaktan kumanda ile çalıştırılması ve kontrolü olarak tanımlanabilir. Madencilik sektöründe uygulanan

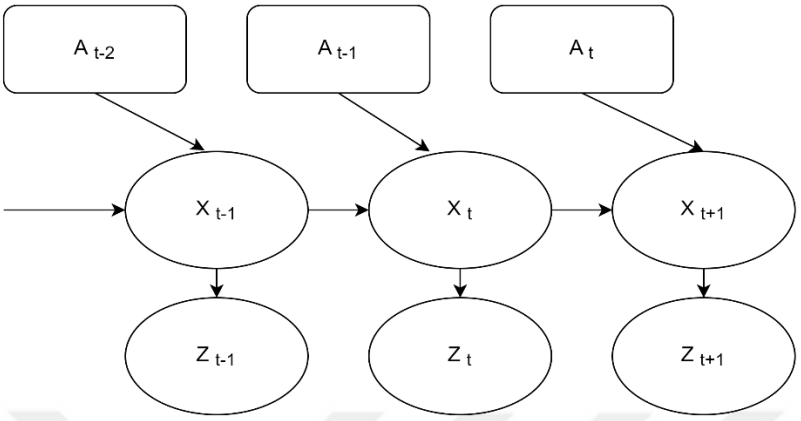
kontrol sistemlerinin büyük bir kısmı el ile kumanda edilmektedir. Makinayı kullanan operatör, uzaktan kumanda sayesinde makinayı çalışanlardan daha uzağa yerleştirilebilir (Murphy, 1985). Bu sürecin ana belirleyici unsuru robotların ve insanların ortak alanlarda eşzamanlı olarak görev alacak olmalarıdır. Çünkü insan ve makine arasında artan bu etkileşim ve iş birliği genel anlamda çalışan ve işletme güvenliği açısından olumlu etkisi olacaktır (Galin ve Meshcheryakov, 2019).

Otomasyon; makinalar, insanların beden gücü ile yapamadıkları işlerde onlara yardımcı olmaları için icat edilmiştir. Başlangıçta çalışanlara yardımcı olması için geliştirilen teknoloji olarak tanımlansa da gümümüzde insanoğlunun yerini hızlıca alan bir sistem haline dönüşmüştür. Otomasyon sistemlerin üretim sürecine olan katkısı, çalışanlarda üretimden el çektirme ve işsiz kalma kaygısına da neden olabilmektedir. Bu nedenle Endüstri 4.0 süreci ile birlikte nitelikli elemanlara olan ihtiyaç olağandan çok daha fazla olması beklenmektedir. Diğer taraftan nitelikli olmayan çalışanların bu süreçte işsiz kalması kaçınılmaz hale geleceği öngörülmektedir. Otomasyon sistemler, iş güvenliği ve yüksek performans, organizasyon kolaylığı, düşük işletme maliyetleri, makinaların daha verimli kullanılmasına olanak sağlaması açısından büyük avantaj sağlarken, sistemsel arızalar, sistemin karmaşıklığı, yatırım maliyetlerinin yüksek olması, çalışanların eliminasyonu gibi dezavantajları da bulunmaktadır. Madencilikte kullanılan otomasyon sistemlere; delme, burgu, tren, bant konveyör, havalandırma, yürüyen tahkimat vb. örnek olarak verilebilir.

Robotlaşma; otomasyon sisteminin ileri bir aşaması olarak tanımlanabilir. Robotlar veya mekanik kolların programlanarak uzaktan kumanda vasıtasıyla verilen komutları yerine getirirler (Kızıl ve ark., 1995). Günümüzde sık tekrarlanan işlerde, tehlikeli ve çok tehlikeli iş kolları gibi alanlarda çoğunlukla robotik sistemler kullanılmaktadır. Madencilik endüstrisinde ise bu teknolojilerin uygulanabilmesi, altyapı hizmetleri, sermaye ve güvenlik gibi konulardaki belirsizlikler nedeniyle kısmen gecikebilmektedir.

Fakat bu uygulamaların, denenmiş ve ekipmanlarıyla verimli, güvenli ve karlı bir şekilde üretim süreçlerine entegre edilmesi teknolojik değişimin itici gücünü nispeten azaltmaktadır. Her teknolojik gelişme beraberinde birtakım riskleri getirmektedir. Sistemsel yaşanabilecek muhtemel başarısızlıkların ve risklerin tespit edilmesi çoğu kez ciddi zaman kaybına neden olabilmektedir. Ancak robotların sisteme uygun şekilde entegre edilmesi ile ürün performansı ve ekipman ömrünün uzaması sağlanarak verimsizlik de ortadan kaldırılabilir (Matysek ve Fisher, 2016). Yeraltı madenlerinde robotik sistemlerin kullanımında çevre koşuları büyük önem taşımaktadır. Robotlarda iyi bir algılamanın sağlanabilmesi için üç unsur önemlidir: Robot, istenilen şekilde hareket edebilmesi için gerekli bilgiye sahip olmalı, verimli şekilde güncellenebilir olmalı ve gerçek zekaya yakın özellik taşımalıdır. Şekil 2.8'de X_t, t zamanda (robotta dahil) çevre durumunu, Z_t, t zamanında tespit edilen gözlemi, a_t ise yapılan gözlem sonucu verilen tepkiyi ifade etmektedir. Hedef bir sonraki noktayı tespit etmektir. P (X_t $|Z_{1:t}$, $a_{1:t-1}$) ifadesi önceki konumdan, P ($X_{t+1}|Z_{1:t+}1$, $a_{1:t}$) ifadesi ise konuma olanı belirtmektedir. Z_{t+1} ifadesi de yeni gözlemi ifade etmektedir. Örnek bir uygulama olarak basketbol oynayan bir robot yapılmasında X_{t+1} ifadesi robot ile basketbol topu arasında bağlı olan konum değişkenini ifade etmektedir. P (X_t $|Z_{1:t}$, $a_{1:t-1}$) daha önceki konum ölçümlerinde, algılayıcı kullanılarak elde edilmiş verilerin tüm durumlara yansıtıldığı olasılıktır. Eşitlik 2.2'de belirtilmiş olan denklem bir sonraki lokasyon tahmini yapmak amacıyla hangi değişken veya değişkenlerin formülde tekrar edilmesi gerektiğini ifade etmektedir. P ($_{Xt+1}|X_t$, a_t) ifadesi hareket veya geçiş modelini belirtirken, P($_{Zt+1}|X_{t+1}$) ifadesi ise algılayıcı modeli belirtmektedir (Özfırat, 2009).

$$P(X_{t+1}|Z_{1:t+1}, a_{1:t}) = a\, P(Z_{t+1}|X_{t+1}) \int P(X_{t+1} \mid x_t, a_t)\, P(x_t \mid Z_{1:t}, a_{1:t-1})\, dx_t \qquad (2.2)$$



Şekil 2.8. Robot Algılamasında Yapılan Eylemlerin ve Ölçümlerin Sırası (Russel ve Norvig, 2003).

Başlangıçta riskli ve tehlikeli bir endüstri olarak kabul edilen madencilik, otomasyon ve iletişim tekniklerinde yaşanan gelişmelerle daha güvenli bir işe dönüşmeye başlamıştır. Otomasyon sistemler ile işgücüne olan ihtiyacın azalması, üretimin daha düşük maliyetle gerçekleşmesi, güvenlik önlemlerini arttıran ve daha yüksek verime sahip ekipmanların kurulumu ile sağlanmaktadır (Gupta ve ark., 2013). İnsanoğlu binlerce yıldır, yeraltı ve yerüstü enerji kaynaklarını ihtiyaçları doğrultusunda kullandı. Önceleri, bunu işgücü veya hayvan gücünü kullanarak yaptılar. Endüstrileşmeye paralel olarak günümüzde kazma, kürek gibi hacimce daha büyük hammaddelerin ulaşımı dizel kamyonlar, trenler ve gemilerle yapılmaya başlandı. Bu durum günümüzde gelişerek insan yerine robotların kullanımını daha da ön plana çıkarmaya başladı. Dünyanın en büyük madencilik firması Rio Tinto bu değişimin öncülerinden olmuştur. İnsansız kırıcı ve delgi düzeneği ile çıkarılan cevherlerin, otonom sistem kamyonlarla ve trenlerle 1000 km uzaklıkta bulunan limana taşımaktadır.

Otonom kamyonlarla yapılan nakil doğal olarak verimliliği arttırmıştır. Böylelikle sadece 24 saatte bir dizel yakıt takviyesi için bekleme yapılmıştır. Sonuç olarak çay molası, vardiya değişimi, sigorta ve izin gibi insani ihtiyaçlar da ortadan

kalkmış oldu. İşletmenin bünyesinde bulunan 400 kamyonun 76'sı otonom araçlardan oluşmaktadır (Yılmaz, 2018).

2.10. Endüstri 4.0 Kapsamında Yol Haritaları

Endüstri 4.0 yol haritaları, ülkelerin, yatırımcıların ve işletmelerin rekabet koşullarını yakından takip etmelerini ve bu sürecin sürdürülebilir hale gelmesini sağlayan dinamik bir unsurdur. Bir işletmenin Endüstri 4.0 teknolojileri ile işyeri ve çalışan arakesitine ilişkin bakış açısını geliştirirken, işletmenin mevcut durumu ve beklentilerinin (işletmenin teknolojisi, uygulamaları, dijitalleşme seviyesi, nitelikli çalışan kaynağı, ilk yatırım maliyeti, pazar payı, alt yapı olanakları vb.) kapsamlı şekilde analiz etmesi gerekecektir.

Çizelge 2.5. Dijital Dönüşüm Yol Haritası (Banger, 2018)

Faaliyet Adımları		Bileşenler
Adım 1	İşletmenini mevcut durumunu kapsamlı bir şekilde değerlendirin	**1. İnsan** **2. Süreç** **3. Teknoloji** **4. İçerik**
Adım 2	Dijital iş ve işletmeniz için gelecek vizyonunuzu tanımlayınız	
Adım 3	İşletmenin mevcut durumu ile gelecek vizyonu arasındaki boşlukları tespit edin	
Adım 4	Dört bileşenin üzerinden geleceğe giden bir yol haritası kurgulayın	

Çizelge 2.5'te dijital dönüşümün yol haritasını oluşturan dört ana bileşen belirtilmiştir. Beklenen başarının elde edilebilmesi daha önce belirtildiği gibi mevcut durumun iyi analiz edilmesi ile gelecekte ortaya çıkabilecek boşlukların tespit edilmesi ve bu boşlukların yeni tip insan, süreç, teknoloji ve içerik ile doldurulması gerekecektir. Bu bileşenlerden insan faktörü, iş süreçlerinin işyeri ekosistemine uyumlu şekilde evrilmesini sağlayacak ana unsur kısmını oluşturmalıdır. Çalışanların sürece uyumunun sağlanabilmesi yetkinliklerinin

artırılması, eğitim ve sürekli eğitim ile desteklenmelidir. Çünkü her ne kadar üretim süreçleri büyük ölçüde insan müdahalesi olmadan kendini yönetebilse de sistemin akışının kontrol edilebilmesi ve yönlendirilme işlevini insan üstlenecektir. Süreç bileşeni, yeni dijital iş modeli için kurumsal verimliliğin en üst düzeye çıkarma ve ölçeklenebilirliğini sağlacak şekilde kapsamlı olmalıdır. Bu noktada örgütsel verimliliğin maksimum seviyeye çıkarılabilmesi; gelişmiş iş zekâsı, toplam operasyonel bütünleşme ile sağlanacaktır. Teknoloji bileşeni, donanım, yazılım ve veri bilimi olarak üç adımdan oluşmaktadır. Bilginin elde edilmesi ve yorumlanabilmesi, verilerin altyapı donanımları (kablolu ve kablosuz ağ bağlantıları gibi), yazılım ve algoritmalar sayesinde enformasyona dönüşmesini sağlar. Elde edilen enformasyon ise makineler tarafından bilgiye dönüşmekte daha sonra işgücü tarafından yorumlanmaktadır. İçerik bileşeni, kurum içinde bağlantılılık sayesinde istenilen verilere en hızlı ve doğru şekilde ulaşılmasını sağlayan düzenlemelerdir. En iyileştirilmiş içerik yönetimi; dijital varlık yönetimi, veri kalitesi ve yönetişim, ürün enformasyon yönetişimi gibi unsurlardan oluşmaktadır (Banger, 2018).

3. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

Bu tez çalışmasında, iş güvenliği açısından Endüstri 4. 0 uygulamaları araştırılmıştır. Çalışma kapsamında, işletmede kullanılan ileri teknolojik makine ve akipmanların iş güvenliği açısından etkileri, iş kazalarının kök nedenlerinin tespiti için AHP yöntemi ve son olarak da yeraltı çalışanlarının Endüstri 4.0 farkındalıklarını ölçmeye yönelik 29 sorudan oluşan tarama modelli bir anket çalışması yapılmıştır. Konu içeriği ile ilgili bu zaman kadar yapılmış önceki çalışmalar aşağıda özetlenmiştir.

İmre (1971) yaptığı araştırmada, yeraltı kömür madenciliğinde teknolojik gelişmelerin üretimi arttırmaya yönelmekten çok, maliyeti azalttığını, bir cihaz ile yeraltında bütün operasyonun tek bir sistem üzerinden takip edilebildiğini tespit etmiştir.

Jıang ve Gainer (1986) yaptıkları araştırmada, ölümlü, yaralanmalı ve yaralanmaya neden olmayan ancak rapor edilen robot kaza vakalarını araştırmışlardır. Yeterli bilgiyi elde ettikten sonra bu kazaların sebep-sonuç analizini yaparak kazanın birden fazla sebebinin olabileceği ihtimaliyle kazaları dört kategoride (insan hatası, robot tasarımı, işyeri tasarımı ve diğerleri) sınıflandırmışlardır. Kazaların, sıkışma kazaları, kötü işyeri tasarımı, insan hatası ve diğer faktörlerden kaynaklandığını tespit etmişlerdir.

Roberts ve arkadaşları (2000) yaptıkları çalışmada, yeraltı madenciliğinde reaktif navigasyon kullanılarak araçların otonom kontrolünü araştırmışlardır. Bu kapsamda 30 tonluk bir LHD üzerinde reaktif bir navigasyon sistemini geliştirdiler ve uyguladılar. Daha önceden belirlenen bir maden işletmesinde deneme ve test sürüşleri yapıldı. Sonuç olarak keskin virajlar, herhangi bir altyapı veya fiziksel değişiklik yapılmadan, tipik bir üretim döngüsü boyunca sistemin sorunsuz bir şekilde çalışabildiği gözlemlenmiştir.

Golosinski (2001) yaptığı araştırmada, bilgi teknolojilerinde yaşanan hızlı gelişmelerin ve internetin yaygın olarak kullanılmasının, genel olarak işletmelerde

ve madencilik endüstrisindeki etkisini araştırmıştır. Araştırmacı, internetin madencilik sektöründen kullanılması ile bu alandaki verimliliğin daha da artacağını öngörmüştür.

Kocal ve Özçelik (2002) yapmış oldukları araştırmada, yeraltı uzaktan izleme ve kontrol sistemleri üzerine çalışma yapmışlardır. Türkiye'de bu sistemlerin kullanılması iş güvenliği açısından önem arz ettiği, ancak istenilen düzeyde fayda sağlayabilmesi için iyi bir etüt ve iyi bir organizasyon ile sağlanabileceği tespitinde bulunmuşlardır.

Kazakidis ve arkadaşları (2004) yapmış oldukları çalışmada tasarım, parçalanma, maliyet, güvenlik ve kültür ana kriterlerini göz önünde bulundurarak tahkimat tasarımı, sondaj teknolojisi, yatırım, kuyu lokasyon seçimi ve madencilik risk planlaması gibi beş kriteri AHP yöntemini kullanarak bir yazılım programı ile analizini yapmışlardır.

Farrelly (2007) üzerinde çalıştığı uzak operasyon merkezleri (ROC) sistemlerinin madencilik dahil petrol, havacılık ve savunma sistemlerinde çok faydalı olduğunu belirtmiştir. Bu sistemin çalışanların muhteme tehlikelerden uzak tutmak için verimli bir sistem olduğunu vurgulamıştır. Sistemin madencilikte uygulanması ile çalışan sayısının azalacağına, çalışanların daha az riske maruz kalacağına, üretim sorunlarının erken teşhis edileceğine, teknik ve acil durum tespitinin daha hızlı ve daha iyi tepki verilebileceğini belirtmiştir.

Yavuz ve arkadaşları (2008) yapmış oldukları çalışmada, Kütahya-Tunçbilek'te faaliyet gösteren bir maden işletmesinde ana nakliyat yoluna en uygun tahkimat seçimi için AHP yöntemini kullanmışlardır.

Bassan ve arkadaşları (2008) yapmış oldukları çalışmada, madencilik endüstrisinin gelecekte otomasyon seviyesinin artması ile daha akıllı ve entegre madencilik sistemlerinin işletmelere birçok açıdan fayda sağlayacağını öngörmüşlerdir. Uzaktan operasyon merkezlerinin yaygın olarak kullanılması, işletmelerin daha bilinçli şekilde karar vermesi ve iş süreçlerini de olumlu şekilde etkileyebileceğini vurgulamışlardır.

Özfırat (2009) yaptığı araştırmada, robotik sistemlerin bileşenleri, bu sistemlerin oluşturulması ve madencilik endüstrisinde uygulanabilirliğini araştırmıştır. Yapılan çalışmanın sonucunda madencilik endüstrisinde robotik sistemlerin kullanımının olumlu yanlarına vurgu yapılmıştır.

Kahraman (2012) yapmış olduğu çalışmada, ergonomik risk değerlendirme yöntemleri olan REBA, RULA ve SI'yı kullanarak çok kriterli karar verme yöntemleri ile örneklendirilmiş ve bütünleşik bir model önermiştir.

Stephen ve arkadaşları (2013) yaptıkları çalışmada; ana çatı destek malzemesinin otomatik kurulumu, yeraltı kömür madenciliğinde karayolu geliştirme sürecinde verimliliği ve işletmenin güvenliğine etkisini araştırmışlardır. Yapılan saha denemeleri sonucunda otomatikleştirilmiş bir sistemin, çalışan müdahalesi olmadan başarılı bir şekilde gerçekleştiğini bu durumun madencilikteki elleçleme uygulamalarının ortadan kaldırabileceği gibi prototiplerin tam bir yeraltı uygulanmasında teknik açıdan riski önemli oranda azalttığı sonucuna varmışlardır.

Javad ve Mohammad (2013) İran'da Golegorhar Demir madeni için en iyi birincil kırıcının seçimi için AHP yöntemini kullanmışlardır. Araştırmada, çift sarmallı çene, tek mafsallı çene, impaktör, düşük devirli boyutlandırıcı, döner, yüksek devirli merdaneli kırıcı, çekiçli değirmen ve besleyici kırıcılar alternatif olarak değerlendirilmiştir. Besleme boyutu, kaya basınç dayanımı, ürün boyutu, aşınma indeksi ve kırıcının hareketliliği kriter olarak kabul edilmiştir. Çalışma sonucunda döner kırıcı, incelenen maden için en iyi birincil kırıcı olarak sunulmuştur.

Nadeau ve arkadaşları (2013) güvenli ve sürdürülebilir bir çalışma ortamının önemi üzerinde çalışma yapmışlardır.

Çalışma kapsamında madencilik alanında kullanılan madencilik araçlarının ve kişisel koruyucu ekipmanlarının ilkel olduğunu ve muhtemel riskler karşısında insan faktörü göz önünde bulundurularak yeni ve akıllı kişisel koruyucu ekipmanların tasarlanmasının sürdürülebilir bir maden işletmesi için gerekli olduğunu belirtmişlerdir.

Mallı ve arkadaşları (2014) yeraltı kömür işletmelerinde insan kaynaklı tehditleri ortadan kaldırmak amacıyla, örnek bir işletmenin merkezi gaz izleme ve erken uyarıcı sistem verileri üzerinde çalışmışlardır. Yapılan çalışmada insan faktörü mümkün olduğunca devre dışı bırakılmıştır. Kurulan otomasyon sistemi sayesinde merkezi izleme sistemi aktif olarak kullanılarak ocak içi kontrol altına alınmış ve güvenli bir çalışma ortamı sağlanmıştır.

Raltson ve arkadaşları (2014) yapmış oldukları çalışmada, yeraltı kömür madencilik süreçlerinin emniyet, verimlilik ve çevresel sürdürülebilirliğini arttırmak amacıyla otomasyon teknolojilerinin rolünü araştırmışlardır.

Chen ve arkadaşları (2014) nesnelerin internetinin küresel bilgi endüstrisine ekonomik ve teknolojik alanda katkı sağlayabileceğini belirtmişlerdir. Yaptıkları çalışmada, internet teknolojisinin madencilik ve petrol sanayisi gibi farklı endüstrilerde kullanılabileceğini öngörmüşlerdir.

Sommer (2015) yapmış olduğu çalışmada, Endüstri 4.0'ın Almanya da faaliyet gösteren şirketler tarafından nasıl karşılandığını, etkilerini ve bu değişime hazır olup olmadıklarını incelemiştir. Çalışma sonucunda, makro boyutta işletmelerin Endüstri 4.0 sürecini kabullenmeleri ve yaklaşımları olumlu yönde iken, mikro boyuttaki işletmeler için bu sürecin adaptasyon sorununa neden olabileceğini bu nedenle büyük risk ve mağduriyetlerin yaşanabileceğini öngörmüştür.

Podgórski (2015) yapmış olduğu çalışmada, iş sağlığı ve güvenliği sisteminin operasyonel performansını değerlendirmek amacıyla AHP yöntemini kullanarak ana performans göstergelerini seçmiştir.

Sökmen (2016) Uzmanlık Tez Çalışmasında, yeraltı madenlerinde personel takip ve haberleşme sistemlerini incelemiştir. Acil durumlarda sistemlerin aktif olarak çalışmalarının sürdürülebilmeleri için alternatif bağlantı altyapısının kurulmasıyla sağlanabileceğini tespit etmiştir. Aynı zamanda tespit edilen sorunlar ve çözüm önerilerine ek olarak detaylı bir mevzuat çalışmasının yapılması gerektiğine değinmiştir.

Ercan ve Kutay (2016) nesnelerin internetinin endüstriyel üretime entegre edilmesi ile ilgili, önleyici bakım, otomatik depolama, madencilik, akıllı çevre düzenlemeleri gibi çeşitli uygulamaları araştırmışlardır. Araştırmacılar bu uygulamanın bilgi toplama, analiz etme, depolama, maliyet, siber güvenlik gibi konularda olumsuz sonuçlar doğurabileceğini bunun yanında üretimde kalitenin artması, maliyetin azalması, çalışan güvenliğinin sağlanması gibi olumlu yanlarının da olduğunu belirtmişlerdir.

Wang ve arkadaşları (2016) yapmış oldukları çalışmada, bir kömür madeninde risk değerlendirmesi için doğrusal olmayan bulanık AHP yöntemini kullanmışlardır. Yapılan çalışmada, çevresel, yönetsel, bireysel ve operasyonel risk faktörleri ele alınmıştır.

Rodríguez ve arkadaşları (2016) yapmış oldukları çalışmada, bulanık AHP ve bulanık çıkarım sistemi yöntemlerini kullanarak yeni bir risk değerlendirme yöntemi geliştirmişlerdir.

Bektaş ve Sondaş (2016) yapmış oldukları çalışmada RFID modülünü kullanarak bir labaratuarın giriş-çıkış kontrolünü yapmışlardır. Çalışma kapsamında Microsoft C# program dili kullanılarak bir arayüz oluşturulmuştur. Geliştirilen arayüz ile personel bilgileri kullanılarak istenilen kişinin giriş-çıkış yaptığı zaman kontrol edilmiştir. Yapılan çalışma sonucunda oluşturulan sisteme tanımlanan çalışanın giriş-çıkış saatlerinin veri tabanında saklandığı ve kontrol edilebildiği görülmüştür.

Wang ve Huang (2017) Çin'de akıllı madenciliğin teknolojik gelişimini ve akıllı madenciliğin gelecek on yıldaki durumunu araştırmışlardır.

Güney ve arkadaşları (2017) yeraltı maden işletmelerinde robotik ölçme sisteminmin yapısal deformasyonlarını araştırmışlardır. Madencilik endüstrisinde insansız üretim ve uzaktan kumandalı üretim sistemi olarak kullanılan "GeoRoSS" gibi akıllı sistemleri incelemişlerdir. Sonuç olarak çalışan sağlığı ve güvenliğine açısından faydalı olan yöntemin üretim artışına, işletme maliyetinin düşmesine, iş

kazalarından kaynaklanan ölümlerin azalmasına ve maden cevherinin daha verimli şekilde üretilmesine katkı sağlayacağı sonucuna ulaşmışlardır.

Tercan ve arkadaşları (2017) madencilik faaliyetlerinde izleme ve otomasyon sistemlerini araştırmışlardır. Bu sistemin işletme güvenliği ve verimliliğini arttıracağı tespitinde bulunmuşlardır.

Çavur ve Demir (2017) kapalı alanlarda RFID teknolojisi ile anlık konumlandırma metodoloji konusunu araştırmışlardır. Konumlandırma için özgün Java programlama dili kullanılarak özgün bir algoritma geliştirmiştir. Algoritmada komşuluk, yön ve sinyal alınan en son noktanın sağında ve solunda RFID okuyucu olup olmadığına dair filtreler ile yapılan konumlandırmanın doğruluk hassasiyeti arttırılmıştır. Bu yöntem yeraltı tuz madeninde test edilmiş ve başarılı şekilde çalıştığı ispat edilmiştir.

Li ve Zhan (2018) insansız ekipmanlara dayalı yeraltı metal madeni için akıllı madencilik teknolojisini araştırmışlardır. Uygulama alanı olarak Çin'de bulunan bir yeraltı metalik madenini seçmişlerdir. Bu madende insansız akıllı ekipmanları test etmişlerdir. Yapılan çalışma sonucunda kablosuz iletişim sistemi ve navigasyondan sisteminden alınan veriler otonom kazıcıya aktarılmış ve bu çalışma olumlu sonuç vermiştir. Bu endüstriyel testler, insansız madencilik teknolojisinin Çin'de ileri seviyeye taşıyabileceği ve rekabet yeteneğinin arttırabildiğini göstermiştir.

Hyder ve arkadaşları (2018) yapay zekanın ve otonom teknolojilerinin madencilik endüstrisinde uygulanmasının maliyeti azaltacağı, verimliliği arttıracağı ve çalışanların tehlikeli çalışma koşullarına maruz kalmalarını önleyeceği gibi birçok olumlu tespitlerde bulunmuşlardır.

Petrillo ve arkadaşları (2018) yapmış oldukları çalışmada, 4. Sanayi devrimi ile ortaya çıkan güncel uygulamaları, zorlukları ve fırsatları tespit etmeye çalışmışlardır. İşletmelerin Endüstri 4.0 kapsamında ortaya çıkan bu yeni paradigmayı uygulayabilmeleri için çalışanların, otomasyon, dijitalleşme ve bilgi

teknolojileri alanlarında güncel bilgiye sahip olmaları gerektiği önerisinde bulunmuşlardır.

Lööw ve arkadaşları (2019) Madencilik 4.0 kapsamında yeni teknolojilerin işyeri ortamına etkisini araştırmışlardır. Yapılan çalışmanın olumlu bir gelişmeyi temsil ettiği ancak bu sürecin verimli olabilmesi için çalışanların da bu yönde gelişimi için (çalışanların yetkinlik gelişimine dahil edilmesi, yaratıcılıkların teşvik edici ve örgütsel öğrenme vb.) bir dizi öneriler sunmuşlardır.

Bertayeva ve arkadaşları (2019) madencilik sektöründe Endüstri 4.0 ile birlikte küresel eğilimler ve yenilikçi gelişmeler konusunda çalışmışlardır. Araştırma sonucunda, maden işletmelerinin yenilikçi gelişim problemlerinde yaşanabilecek teknolojik gecikmeyi önlemek amacıyla birtakım öneriler (geleneksel muhafazakâr eğilimlerin üstesinden gelmek, yeni teknolojik gelişmelere hızlı uyum sağlamak, şirket için eğitimin yanı sıra organizasyona yönelik yöntemler planlamak vb.) sunmuşlardır.

Yasım (2020) yapmış olduğu çalışmada, Endüstri 4.0'ın çalışma hayatında ortaya çıkarması beklenen değişimleri araştırmıştır. Araştırma kapsamında, Endüstri 4.0 sürecinin; üretim teknolojisinde yarattığı değişim, nitelikli iş gücüne olan gereksinim, yapay zekâ ve robotların istihdam üzerindeki etkisinin olumlu/olumsuz yansımalarını, çalışan sağlığına ve güvenliğine getirmiş olduğu fırsatları ve riskleri incelemiştir.

Çalışma sonucunda, Endüstri 4.0 ve beraberinde getirmiş olduğu nimetlerden faydalananların yükü paylaşma konusunda daha istekli olmaları gerektiğini belirtmiştir.

Safar ve arkadaşları (2020) yapmış oldukları çalışmada Endüstri 4.0-Güney Hindistan farkındalığını ölçmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Çalışmada katılımcıların Endüstri 4.0 kavramları ve bileşenleri hakkında bilgi düzeylerinin oldukça zayıf olduğunu tespit etmişlerdir. Sonuç olarak demografik gelişimin yüksek olduğu bir bölgede Endüstri 4.0 kavramlarına yönelik bilgi düzeyinin

yetersiz olması bu sürecin sürdürülebilir olmasını engeleyici unsurlardan bir tanesi olduğunu vurgulamışlardır.

Özdağoğlu ve Yılmaz (2020) Endüstri 4.0'ın farkındalık analizi konulu çalışmalarında, İzmir ve Manisa'da bulunan bazı işletmelerin Endüstri 4.0 farkındalıklarını araştırmışlardır. Çalışma sonucunda, Endüstri 4.0 terimi firmalar tarafından en çok (%23,36) bilinen terim olmuştur. Bunu sırası ile nesnelerin interneti (%17,52), fabrika düzeni (16,06) ve büyük veri (16,06) takip etmiştir.

Doğan ve Baloğlu (2020) yapmış oldukları çalışmada, üniversite öğrencilerinin Endüstri 4.0 kavramsal farkındalık düzeylerine yönelik bir ölçek geliştirmişlerdir. Çalışma sonucunda, E4.0-KF ölçeği kullanılarak yapılan çalışmanın üniversitenin farklı fakülte, meslek yüksekokulu ve yüksekokullarında öğrenim görmekte olan öğrencilere uygulanması ve elde edilen sonuçların karşılaştırmalı olarak incelenmesinin faydalı olacağını belirtmişlerdir.

Mahlberg ve arkadaşları (2021) Endüstri 4.0'ın gelecekte Avusturya'daki mesleklerin gelişimine ve değişimine olan etkisini araştırmışlardır. Çalışmada Avustralyalı işgücünün yaklaşık %40'nın gelecekte görev yapısı, yetkinlik gereksinimi ve çalışma ortamı ile ilgili önemli değişikliklere uğramasının oldukça yüksek olduğunu bu durumun bazı zorlukları ve fırsatları da beraberinde getireceğini öngörmüşlerdir.

Tepe (2021) yapmış olduğu çalışmada, Endüstri 4.0'ın iş sağlığı ve güvenliği üzerine etkisini araştırmıştır. Araştırma sonucunda yeni süreç ile farklı meslek hastalıklarının ve yeni iş kazalarının ortaya çıkabileceğini, bu kapsamda işyerlerinde çalışanların sağlığını ve güvenliği almakla görevli olan kişilerin güvenlik önlemlerini yeni standartlara göre uyarlaması gerektiğini belirtmişir.

Endüstri 4.0 kapsamında, yapay zekâ, kablosuz iletişim ve otomasyon uygulamaları madencilik sektöründe ivme kazanmaktadır. Firmalar bu teknolojileri kullanarak daha güvenli ve daha verimli operasyon koşullarını elde etmeyi amaçlamaktadırlar. Ayrıca uzaktan kontrol ve otomasyon teknolojiler sayesinde tehlikeli alanlar çok daha güvenli hale gelmeye başlamıştır. Bu kapsamda Sandvik

gibi maden makine üreticileri AutoMine ve OptiMine gibi çeşitli teknolojik platformlar geliştirmiştir. OptiMine uygulaması yeraltı arkipmanlarından elde edilen verilerin takibi için geliştirilmiş bir programdır. AutoMine ise delme, patlarma, yükleme gibi operasyonların otomasyonu ve uzaktan kontrolünde kullanılan bir programdır (Sandvik, 2020). BHP, Rio Tinto gibi makro boyuttaki maden firmaları uzun bir süredir bu yönde yatırımlar yaparak üretimlerini insansız yapmak yönünde ilerlemektedirler (TKDB ve TOBB, 2020).

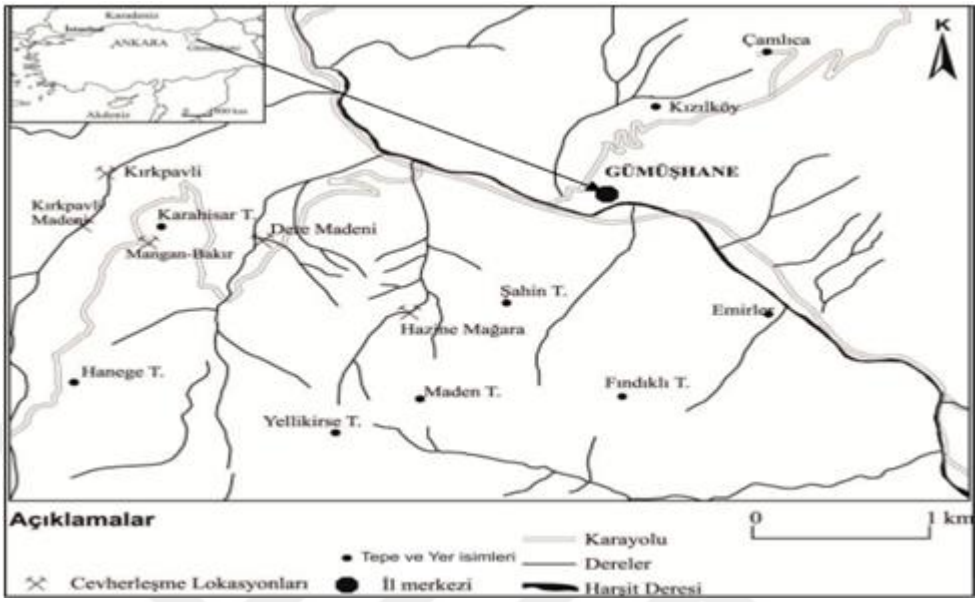
4. MATERYAL VE METOT

4.1. Materyal

Bu doktora tez çalışmasında çalışma sahası olarak Gümüşhane İli sınırları içinde bulunan, çok tehlikeli iş kollarından ve madenciliğin alt dallarından olan bir yeraltı metal maden işletmesi seçilmiştir.

4.1.1. Çalışma Sahası

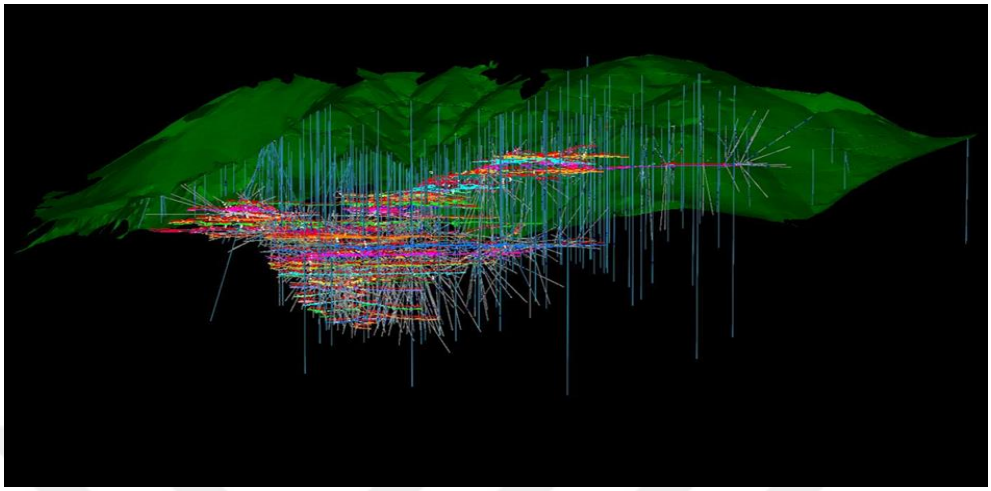
Çalışma sahası olarak Gümüşhane İl sınırları içinde bulunan bir yer altı metalik (altın-gümüş içerikli kurşun-çinko) maden işletmesi seçilmiştir. İşletme 2005 yılında arama sondaj faaliyetlerine başlamıştır. İlk galeri çalışma faaliyeti ise 2008 yılında yapılmıştır. Gümüşhane İli merkez ilçesinin 2 km güneyinde Karşıyaka Mahallesi, Şahin Tepesi ve Maden Tepesi adı verilen bölgeyi kapsayan çalışma alanı, Hazine Mağara maden galerisi ve çevresinde yer almaktadır. Alan 1/25000 ölçekli Trabzon H42-b_2 paftası içerisinde bulunmaktadır. Şekil 4.1'de çalışmanın yapıldığı işletmeye ait yer bulduru haritası, Şekil 4.2'de ise işletmenin Google Earth görüntüsüne yer verilmiştir.



Şekil 4.1. İşletmenin Yer Bulduru Haritası



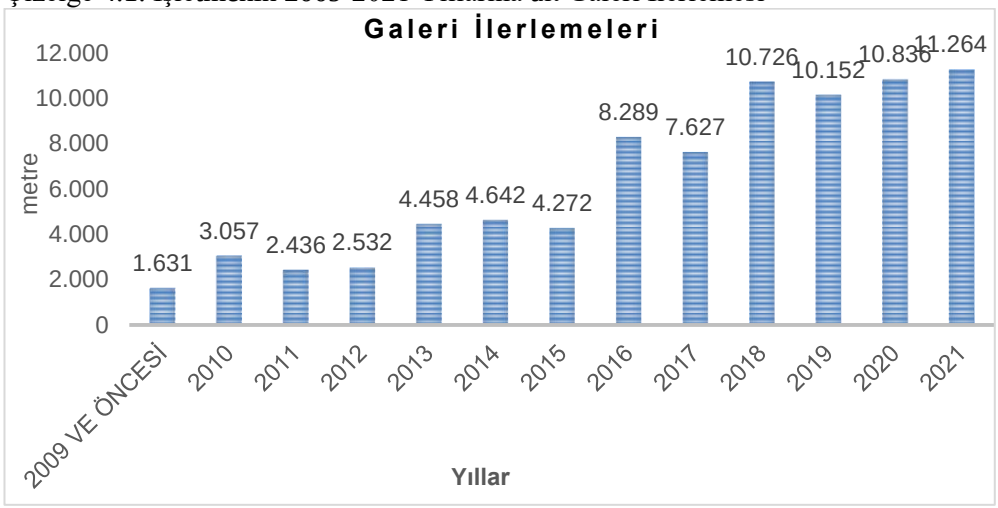
Şekil 4.2. Çalışma Alanın Google Earth Görüntüsü



Şekil 4.3. İşletmenin Yeraltı ve Yerüstü Sondaj Delgileri

İşletmede 2010 yılından 2021 yılının sonuna kadar 4.367.456 ton tüvenan cevher üretimi gerçekleşmiştir. Bu süreçte 70.534 m galeri sürülmüştür. İşletmenin yer üstü sondaj delgileri 53.825 m, yer altı 82.104 m, galeri fere imalat toplamı (Şekil 4.3) ise 135.929 m'dir.

Çizelge 4.1. İşletmenin 2009-2021 Yıllarına ait Galeri İlerlemesi



Çizelge 4.1'de işletmenin 2009-2021 yılları arasında galeri ilerlemeleri görülmektedir. İşletmede 13 galeride üretim yapılmaktadır. Çizelge 4.2'de işletmede üretim yapılan galeriler ve kotları verilmiştir.

Çizelge 4.2. İşletmede Üretim Yapılan Galeriler

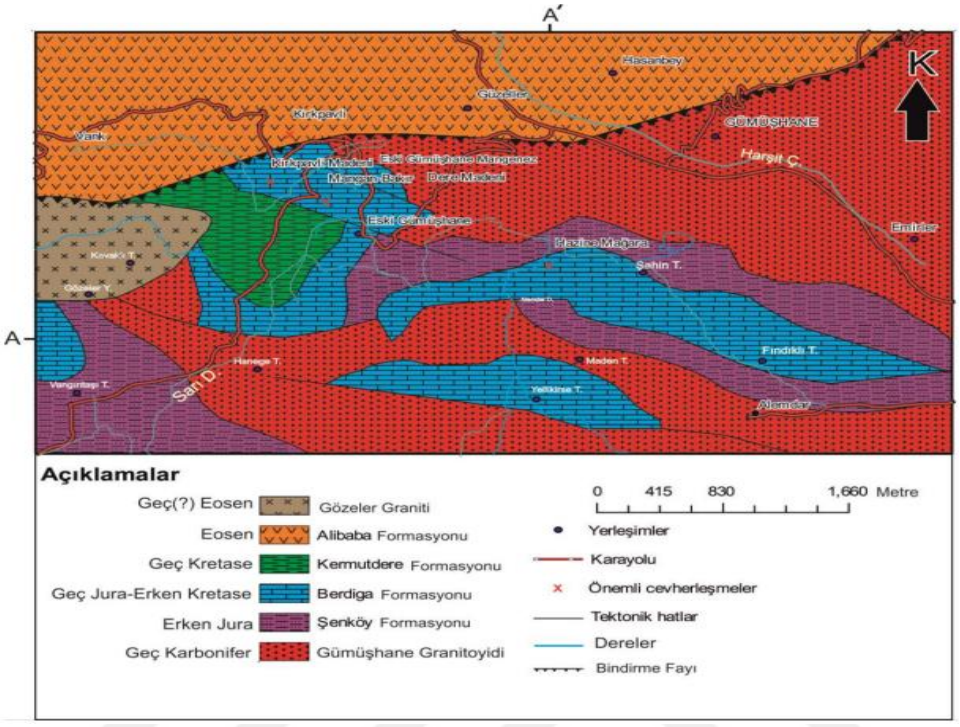
1280-C2	1280 Kotu	G. Madencilik
1305-C1	1305 Kotu	G. Madencilik
1310-C1	1310 Kotu	G. Madencilik
1320-C2 Cross2	1320 Kotu	G. Madencilik
1335-C2	1335 Kotu	G. Madencilik
1335-C1	1335 Kotu	Alt İşveren
1350-C1	1350 Kotu	Alt İşveren
D-237	1460 Kotu	Alt İşveren
1490	1490 Kotu	Alt İşveren
1500	1500 Kotu	Alt İşveren
D-36	1520 Kotu	Alt İşveren
D-49	1555 Kotu	Alt İşveren
D-58	1590 Kotu	Alt İşveren

4.1.2. Çalışma Sahasının Tarihi ve Jeolojik Yapısı

Gümüşhane'de madencilik tarihi Tunç Çağına dayanmaktadır. Hititler, Romalılar, Persler, Trabzon Rum İmparatorluğu, Bizanslılar ve Osmanlı İmparatorluğu gibi birçok önemli uygarlık bu bölgede madencilik faaliyetinde bulunmuştur. Derin bir madencilik geçmişine sahip olan Gümüşhane ili sınırlarında yüzün üzerinde maden Osmanlı döneminde işletilmiştir. Bu madenler Osmanlı devletinin gelişme, duraklama ve parçalanmasına kadar faaliyetini sürdürmüştür. XVII. Yüzyıldan XVIII. yüzyıla kadar bölgedeki maden işletmeleri altın çağını yaşamış ve madencilik faaliyetlerini aktif bir şekilde sürdürmüşlerdir. Ancak bu dönem sonrası üretimin azalması ile madencilik faaliyetleri de azalmıştır. Bu

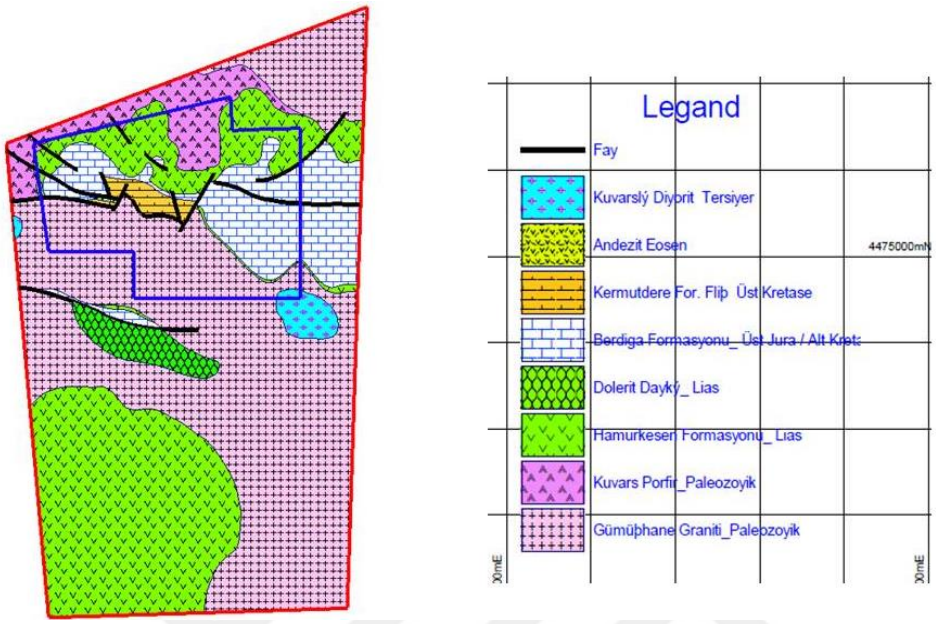
durumun en önemli nedeni, madencilik faaliyetlerinde kullanılan yöntemlerin dönemin gelişen teknolojisine ayak uyduramaması olarak gösterilmiştir. Gümüşhane; gümüş, altın, bakır, demir, kurşun manganez, pirit, çinko, krom, linyit kömürü ve uranyum yatakları gibi önemli ve stratejik yeraltı kaynaklarına sahip bir ilimizdir (Üçüncüoğlu ve Kömürlü, 2016).

Gümüşhane bölgesinin jeolojik yapısı incelendiğinde, en yaşlı temel kayaçların orta-yüksek dereceli bölgesel metamorfitlerden oluşmaktadır (Korkmaz ve Baki, 1984). İşletme ruhsat alanı doğu pontid kuşağının güney sınırında yer almakta, sahada volkanik tortul ve intrüzif kayaçlar yoğunlukta bulunmaktadır. Çalışma ruhsat alanı, jeolojik olarak permokarbonifer yaşlı Gümüşhane graniti, bazalt ve lav piroklastları, jura-liyas, yaşlı andezit, dogger-malm-alt kretase yaşlı masif ve tabakalı kireçtaşları ve üst kretase yaşlı flişlerden oluşmaktadır. Bütün kayaç birimleri alpin orojenezi'nin farklı fazlarından etkilenmiştir. Bundan dolayı tüm birimler çoğunlukla güney-kuzey yönlü bir sıkışmanın etkisi altında kalmıştır. İşletme ruhsat alanında yapılan birçok jeolojik etüt çalışması sonucunda cevherleşmelerin tersiyer yaşlı granit intrüzyonlar ile bağlantılı olduğu tespit edilmiştir (Anonim, 2020). Şekil 4.4'te çalışma bölgesinin jeolojik haritası verilmiştir (Erşen, 2013).



Şekil 4.4. Çalışma Bölgesinin Jeoloji (Erşen, 2013).

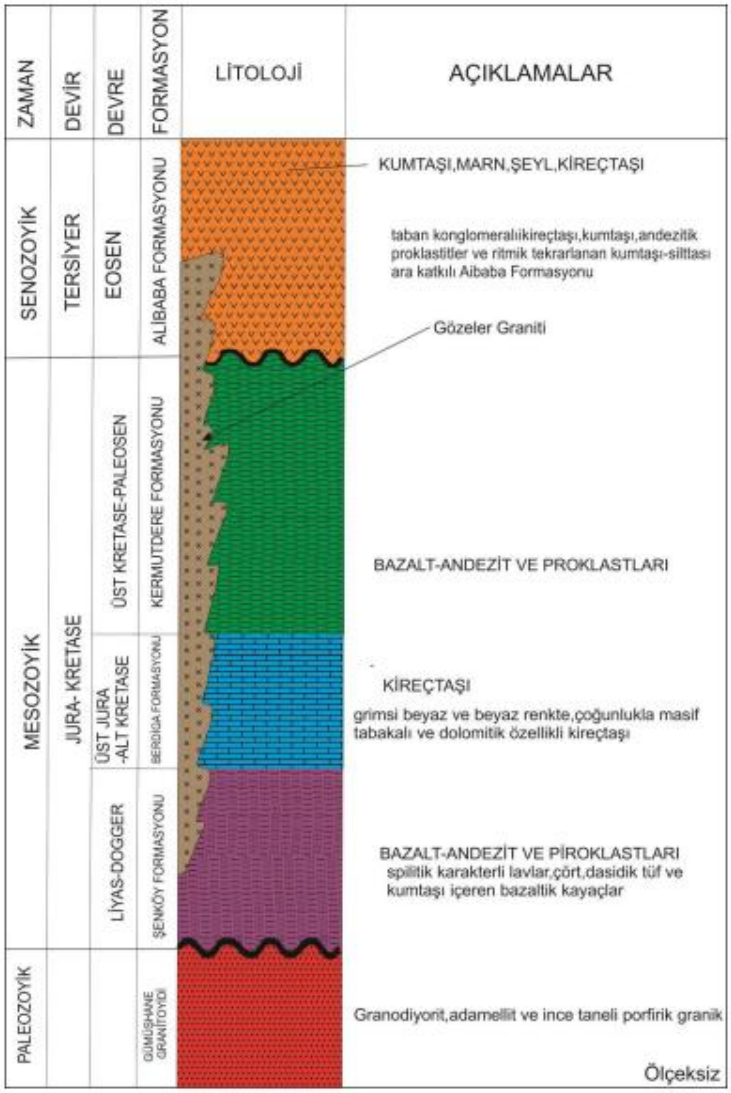
Çalışmanın yapıldığı işletme çinko (Zn) ve kurşun (Pb) üreten bir polimetalik yeraltı madenidir. Yapılan jeolojik araştırmalar sonucu maden yatağının çok düzensiz bir yapıya sahip olduğu tespit edilmiştir. Granit, kireçtaşı, jura ve fliş karşılaşılan temel kaya formasyonlarıdır. Cevheri taşıyan solüsyonlar genelde daha zayıf kaya kütlelerine doğru meyilli olmalarına rağmen cevher kireç taşı içerisinde yoğunlaşmış şekildedir. Cevherin kireçtaşı içerisinde bu şekilde yerleşmiş olması kireç taşlarının fiziksel ve kimyasal yapısından kaynaklandığı açıklanmıştır. Kireç taşları jura volkanik tabakasının üzerinde bulunmaktadır. Galenit (kükürtlü kurşun) ve pirit (demir sülfür) gibi formasyonların dışında galeri pasajlarında afelerit ve kalkopirit (bakırlı pirit) de gözlenmektedir. Kayanın zayıf bölgelerinde ise galenit, kalkopirit, karataş (sfalerit) ve damarlı prite de rastlanmıştır (Agoro, 2019).



Şekil 4.5. İşletme Bakır-Kurşun-Çinko Ruhsat Sahasının Jeolojik Haritası

Ruhsat alanında, cevherleşmelerin birçok eski jeolojik etüt çalışmalarına göre genç tersiyer yaşlı granitik intrüzyonlar ile ilişkili olduğu saptanmıştır. Sahadaki bütün stratigrafik seviyelerde cevherleşmenin görülmesi bu saptamayı kuvvetlendirmektedir. Tersiyer granitleri ile gelen cevherli solüsyonlar geçtiği birimlerdeki kırıklar, çatlaklar ve tabaka düzlemleri içine dolgu damar ve hidrotermal (metazomatik) ornatım yoluyla cevherleşmeleri oluşturmuşlardır. Cevherleşmeler çoğunlukla dogger yaşlı berdiga kireçtaşı içinde oluşmakla beraber, berdiga kireçtaşı-liyas yaşlı volkanik kontaktları ile berdiga kireçtaşı – fliş kontaktlarında oluşmuştur. Ayrıca bu liyas volkaniklerini ve berdiga kireçtaşlarını kesen faylarda da oluşmuşlardır. Cevher zonlarının hemen hepsinde yoğun olmakla beraber Pb, Zn, Cu, Fe, Au ve Ag mineralleri görülmektedir. Ruhsat alanı ve çevresinde başlıca cevher zonları ve alanlarını, Hazine Mağara, Sarı Dere, Kaya Madeni, Dere Madeni ve Kırkpavli madenleri cevherleşmeleri olarak sıralayabiliriz. Mevcut işletmede fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından farklı

cevherleşme zonları vardır. Genel olarak cevher doğrultuları KB-GD yönlü olup güney batı eğimlidirler. Berdiga Kireçtaşı içinde tespit edilen cevherler mercekler şeklinde kalınlıkları fazla piritli, Au ve Ag içerikli yüksek rezervli genelde tavan kontağına yakın cevherlerdir. Kireçtaşı taban kontaktlarında ve genç faylar içinde oluşmuş cevherler ise kalınlıkları az, yüksek Pb, Zn, cevher oluşumları şeklindedir. Bunların dışında Hazine Mağara cevherleşmesi mevcut olup dalımlı antiklinal yapısı fiziksel ve kimyasal özellikleri bakımından farklı değerlendirilmektedir. Bu cevher zonu K 45 B doğrultuda kıvrım ekseni olup 40 derece ile kuzey batı dalımlıdır. Bu cevher eski tarihlerden itibaren bilinen ve üretimi yapılan cevher zonudur. İçinde eski imalat boşlukları bulunan bu cevher zonu 1470 kotlarından başlayarak 1600'lü kotlara kadar çıkmaktadır. Yüzeye yakın kısımları oksitlenmiştir. Cevher içinde genel olarak düşük Pb, Zn mineralizasyonu olup ekonomik olabilecek piritli Cu ve Au cevherleşmesi şeklindedir. Bu kimyasal özellik nedeniyle cevherleşme sarı cevher olarak adlandırılmıştır (Anonim, 2020). Şekil 4.6'da işletme kayaç sınıflamasına yer verilmiştir (Erşen, 2013).



Şekil 4.6. İşletme Kayaç Sınıflaması (Erşen, 2013).

Yapılan çalışma kapsamında işletmenin bulunduğu bölgenin jeolojik yapısının ve formasyonun daha net anlaşılabilmesi için örnek bir kuyu incelenmiştir. Buna göre açılan kuyuda; 0-100 m kadar fliş, 100,30 m -119,25 m berdiga kireçtaşı, 119,25 m – 227,95 m berdiga kireçtaşı, 227,95 m – 228,10 m cevher, 228,10 m – 181,50 m kireçtaşı berdiga, 181,50 m – 185 m fay, 185 m – 348

m kadar lias (volkanik) ve hamur kesen formasyonlarına rastlanmıştır. İşletmede 16/07/2013 tarihinde Şahin Tepe ve Maden Tepe arasında kalan bölgede işletmeye ait maden galerisi içinde bulunan Berdiga Formasyonu'na ait kireçtaşlarının süreksizlikleri ve mühendislik özelliklerinin, hat etüdü yöntemi ile belirlenmesine yönelik çalışma bir üniversite işbirliği ile yapılmış olup çalışma sonucu aşağıda özet olarak verilmiştir.

Tek eksenli basınç Dayanımı Deneyi; Belirli boyutlarda kayaçların, belirli doğrultuda kırılmaya karşı gösterdikleri dayanıklılıktır. Birimi MPa'dır. Gevrek malzemelerde, numune alanında değişme olmadan kırılma meydana gelir. Gevrek özellikte olmayan kayaçlar, tek eksenli basınç altında şekil değişikliğine uğrarlar. Kırılma yükü altında, kayma çatlakları meydana geldiğinde, deney altındaki numunenin kesit alanı büyür. Bu nedenle, gevrek özellikte olmayan kayaçlarda tek eksenli basınç dayanımı, kırılma yükünün, kırılma anındaki alana oranı olarak tanımlanır (Emir, 2017).

Üç eksenli basınç (sıkışma) deneyi; Üç eksenli basınç deneyi silindirik numuneye sabit bir yanal basınç uygularken düşey eksen boyunca düşey yük uygulanmasına dayanmaktadır. Bu deney yapılırken boy/çap oranı 2.0-3.0 olan silindirik numuneler kullanılır. En yaygın 54.7 mm çaplı numuneler kullanılmakla birlikte deney için numune alınamayan durumlarda daha küçük çaplı numuneler kullanılmaktadır (Emir, 2017).

RMR kaya kütle sınıflaması; RMR (Rock Mass Rating) Bieniawski tarafından geliştirilen bir jeomekanik kaya kütle sınıflama sistemidir. İlk kez 1973 yılında ortaya atılmış, 1989 yılında ise son halini almıştır. Bu sınıflama sisteminde sahada ölçülebilen veya sondaj verilerinden elde edilebilecek 5 değişken kullanılır. Bunlar; kaya numunesinin tek eksenli basınç dayanımı (σ_c), kaya kalite değeri (RQD), süreksizlik aralığı, süreksizlik durumu, yeraltı su durumu (Bieniawski, 1989). RMR sisteminde de parametrelerle beraber parametrelere ait puan değerleri yer almakta, hat etütlerinden ve bir dizi labatuvar deneyinden elde edilen sonuçlara

göre parametrelere verilen puanların toplamı kullanılarak kaya kütleleri sınıflandırılır.

Çizelge 4.3. Kaya Kütlelelerinin Bozuşma Dereceleriyle İlgili Sınıflama (Gökçeoğlu, 1997).

Wc	Sınıf	Tanım
< 1,1	1	Bozunmamış (taze)
1,1-1,5	**2**	**Az bozunmuş**
1,5-2	3	Orta derecede bozunmuş
> 2	4	Tamamen bozunmuş

Çizelge 4.4. Kaya Kütleleri İçin Su Sızıntılarını Sınıflama ve Tanımlama Ölçütleri (ISRM, 1981).

Sızıntı Sınıflaması	Tanımlama
1	**Süreksizlik yüzeyleri kuru ve sızıntı yok**
2	Çok az sızıntı gözleniyor
3	Orta derecede akış
4	Önemli miktarda akış gözlenen süreksizlikler belirlenmelidir
5	Ender olarak yüksek miktarda su akışı gözlenmektedir

Çizelge 4.5. Hacimsel Eklem Sayısına (J_v) Göre Blok Boyutu Tanımlaması (ISRM, 1981).

Tanım	J_v
Çok geniş blok	< 1
Geniş bloklar	1-3
Orta büyüklükte bloklar	3-10
Küçük bloklar	**10-30**
Çok küçük bloklar	> 30

Çizelge 4.6. Kayaç Kalitesine (RQD'ye) Göre Sınıflandırma

Kaya sınıfı	**RQD %**
Çok iyi kaliteli	100-90
İyi kaliteli	90-75
Orta kaliteli	75-50
Zayıf kaliteli	**50-25**
Çok zayıf kaliteli	< 25

Çizelge 4.7. RMR (Rock Mass Rating) Sınıflama Sistemine Göre Puan Hesabı

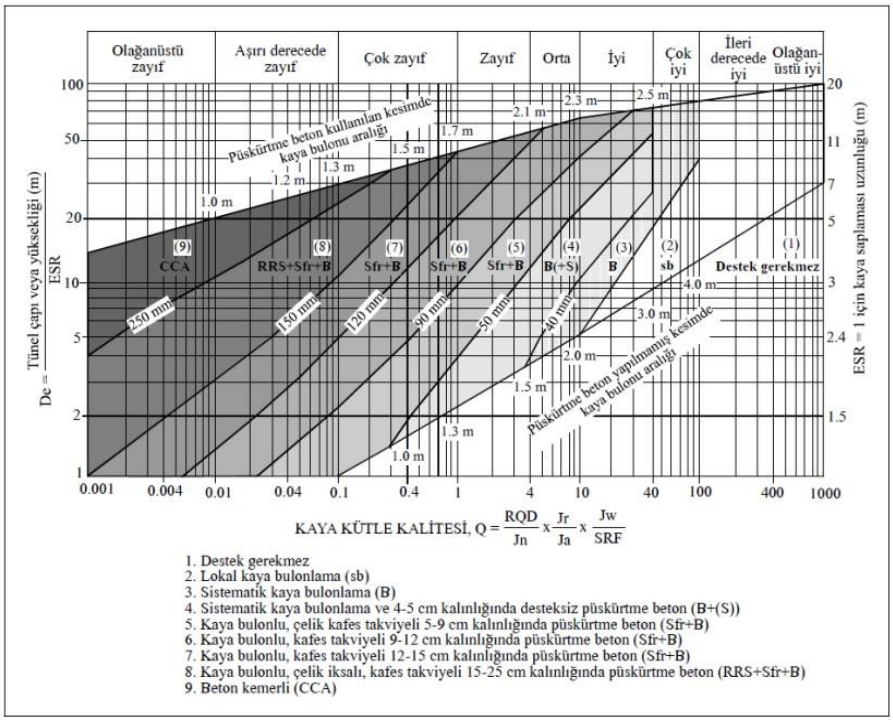
RMR sınıflama Sistemi	**Değerleri**	**Puan**
Kayaç malzemesi dayanımı	50 MPa	7
Kayaç kalite göstergesi göstergesi (RQD %)	% 46,6	9
Sürekizlik ara uzaklığı	0,088 m	6
Devamlılık	3-10 m	2
Açıklık	1,632 mm	1
Pürüzlülük	Az Pürüzlü	3
Dolgu	Yok	6
Bozunma	Az Bozunmuş	5
Yer altı sun durumu	Yok, kuru	15
TEMEL RMR		**54**

Çizelge 4.8. RMR Sınıflama Sistemi (Bieniawski, 1989; ISRM, 1981).

Sınıf No	**RMR Puanı**	**Tanımlama**
1	100-81	Çok iyi kaya
2	80-61	İyi kaya
3	**60-41**	**Orta kaya**
4	40-21	Zayıf kaya
5	20'den küçük	Çok zayıf kaya

Çizelge 4.9. Destek Sisteminin Seçimi İçin Belirlenen Parametreler Ve Destek Seçiminin De'ye Göre Belirlenmesi

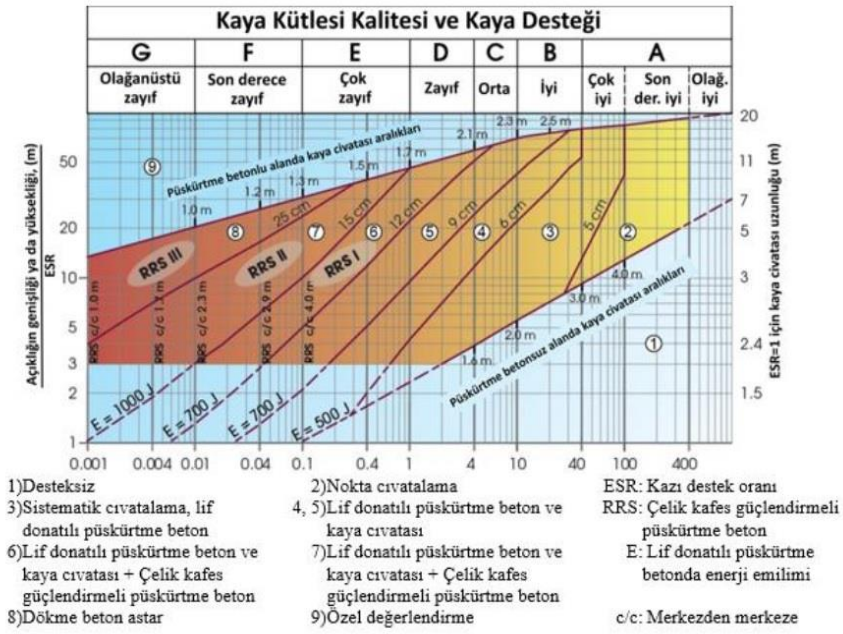
Tünel çapı ve yüksekliği (m)/ESR	**De/ Destek seçimi**
3/1,6	1,875/Destek gerekmez
4/1,6	2,5/Destek Gerekmez
5/1,6	3,125/4-5 cm kalınlığında desteksiz püskürtme beton



Şekil 4.7. Q Sistemi İçin Güncelleştirilmiş Destek Abağı (Grimstad ve Barton, 1993).

Q değerinin hesaplanmasında 4.1 eşitlik kullanılır.

$$Q = \frac{RQD}{Jn} x \ \frac{Jr}{Ja} x \ \frac{Jw}{SRF} \qquad (4.1)$$



Şekil 4.8. Q Değeri Hesaplanmış Kaya Kütlesine Önerilen Destekleme Türü ve Miktarı Grafiği (Karakaplan, 2019).

Ölçüm yapılacağı hattın üzerine şerit metre serilmiş ve hattın başlangıç ve bitiş noktaları işaretlenerek şerit metre merkezde olmak üzere hattın 50 cm üzerinde ve altında kalan kısımlar esas alınarak süreksizlikler ölçülmüş ve tanımlanmıştır. Çalışmanın ilk aşamasında ana süreksizlik setleri ve bu süreksizliklik setlerinin yönelimleri belirlenmiş, süreksizliklerin özellikleri, farklı süreksizlik yüzeyleri için ayrı ayrı değerlendirilmiştir. Çalışmada arazi gözlemleri ve hat etütleri sonucunda üç farklı süreksizlik takımı belirlenmiştir. Bunlar; takım 1-1/39 duruş, takım 2-90/69 duruş, takım 3-297-81 duruş. Çalışmada kaya kütleleri için süreksizlik ara uzaklığı parametresinin tanımlanması için ISRM (1981) tarafından öngörülen tanımlama ölçütleri kullanılmıştır. Ortalama süreksizlik ara uzaklığı değerleri, 1/39 duruş süreksizlik için 0,18 m; 90/69 duruşlu süreksizlik için 0,0088 m ve 297/81 duruşlu süreksizlik için 0,12 m olarak ölçülmüştür.

Bu değerlere göre süreksizlikler yakın ara uzaklık olarak tanımlanmıştır. Devamlılık parametresi, ISRM (1981)'deki tanımlamalar esas alınarak doğrudan şerit metre ile mostra yüzeylerinde yapılan ölçüm ile belirlenmiştir. Ortalama süreksizlik devamlılığı 3-10 m aralığında çıkmıştır. Bu durumda kaya kütle süreksizlikleri orta derecede devamlılık içeren süreksizlliklerdir. Çalışmada süreksizliklerin pürüzlülüğü (ISRM-1981) 2-4 (JCR) değerini almıştır. Çalışmada mm ölçekli şerit metrelerden yararlanarak, her süreksizlik takımı için açıklıklar ayrı ayrı ölçülmüş ve ortalama açıklı değerleri ölçülmüştür. ISRM (1981) tarafından yapılan ve önerilen tanımlama ölçütleri dikkate alındığında süreksizlik açıklıkları; 1/39 duruşlu süreksizlik için 0,535 mm, 90/69 duruşlu süreksizlik için 1,632 mm, 297/81 duruşlu süreksizlik için 0,592 mm olarak ölçülmüştür. Süreksizlik yüzeylerinin bozunma derecesi, Schmidt çekici ölçüm değerlerine dayanarak 1/39 duruşlu süreksizlikler için (W_c: R_f/R_W , Rf (taze yüzeyin Schmith geri tepme sayısı), R_W (bozunma sınıflaması yapılan süreksizlik yüzeyinin Schmith geri tepme sayısı)) W_c, 1,16;90/69 duruşlu süreksizlikler için 1,2 ve 297/81 duruşlu süreksizlikler için 1,1 olarak ölçülmüştür. Bu durumda kayaçlar az derecede bozuşmuş kaya sınıfına girmektedir. Çalışmada süreksizliklerdeki su durumunun sondaj, kazı ve yarmalar ile takip edilmesindeki güçlükten dolayı ISRM (1981) tarafından önerilen kayaç mostralarında yapılacak gözlemleri esas alan su sızıntılarıyla ilgili tanımlamalar dikkate alınmıştır. Buna göre kireştaşı, süreksizlik yüzeyleri kuru ve sızıntı yoktur. Kaya kültesinin hacimsel olarak yapılan hesaplama sonucunda küçük bloklardan oluştuğu tespit edilmiştir. Kayaçların jeomekanik sınıflamalarında her zaman yeterli sondaj olanağı olmadığından bazı güçlükler yaşanabilmektedir. Bu gibi durumlarda kayaçların RQD (Rock Quality Designation) yüzdeleri arazideki kaya mostralarından, yol yarmalarından, galerileri ve tünellerden alınan çatlak ölçümleri ile belirlenir. Çalışmada RQD değeri 46,6 bulunmuş olup bu değerin Palmström (2005)'in yapmış olduğu sınıflama dikkate alındığında kaya kalitesinin zayıf kalite olduğu tespit edilmiştir. İnceleme alanında

yapılan sondaj karotları üzerinde yapılan deneyler sonucunda kireçtaşlarına ait kaya malzemesine ait kuru durumda tek eksenli basınç direnci değeri 50 MPa olarak belirlenmiştir. Çalışmada temel RMR puanı 54 olarak hesaplanmıştır. Sınıflama sistemine göre kireçtaşlarından oluşan kaya kütlesi orta kaya cinsine girmektedir. Bir yer altı açıklığının desteksiz durabilme süresi açıklığın genişliğine veya desteksiz kısmın uzunluğuna bağlıdır. Desteksiz durma süresini açılacak olan maden galerisinin tünel çapları 3 m, 4 m, 5 m için ayarı ayrı desteksiz kalma süreleri hesaplanmıştır. Her ne kadar desteksiz durma süresi 1-3 ay olarak hesaplanmış olsa da, hem değerlerin yüksek olması hemde tünel içinde yapılan 5-6 aylık gözlemlerde de galerilerde kireçtaşlarında aşırı sökülme ve göçme gözlenmemesi bu birimlerin (belirtilen çaplarda açılan galeriler için) desteksiz olarak durabileceğini göstermektedir. Çalışma alanı kazı tipi olarak B (uzun süreli maden kazıları, su tünelleri, büyük kazılar için açılan pilot tüneller, geniş yeraltı kazıları, orijinal ESR:1,6 güncelleştirilmiş ESR:1,6-2,0) sınıflama sistemine girdiğinden ESR:1,6 olarak belirlenmiştir. Buna bağlı olarak De (1,875 destek gerekmez, 2,5 destek gerekmez, 3,125 3-4 cm kalınlığında desteksiz püskürtme beton) sınıflamasına göre destek seçimi 3 m, 4 m, 5 m olan tünel çaplarına göre belirlenmiştir. Q değerine (2,72) göre, kireçtaşı içerisinde açılacak 3-4 m çaplı tüneller için destek gerekmez iken, 5 m'den sonra desteksiz 4 cm kalınlığında püskürtme beton önerilmektedir.

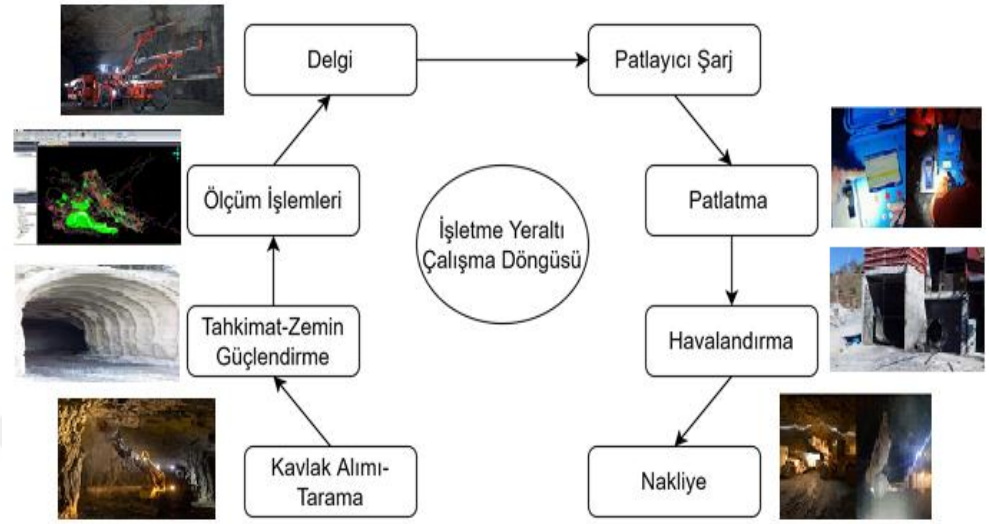
4.1.3. İşletme Yeraltı Çalışma Döngüsü

İşletmede yıllık ortalama 585.0000 ton bakır, gümüş, altın, çinko cevheri çıkarılmaktadır. Toplam çalışan sayısı 255 kişi olup 185 çalışan yer altında istihdam edilmektedir. Ancak 15.11.2021 tarihinden sonra 40 personel Kırkpavli sahasında 20 çalışan ise alt işverene geçmesinden dolayı 125 personel ile üretim yapılmaktadır. İşletmede günlük üç vardiyada üretim yapılmaktadır. 08:00-16:00 vardiyasında 65 personel, 16:00-24:00 vardiyasında ve 24:00-08:00 vardiyasında

ise 30 personel çalışmaktadır. İşletmede toplam 80 km galeri bulunmakta ancak 30 km'sinde aktif (ocak yolları da dahil) olarak çalışılmaktadır. Üretim halen 1270-1520 kotlarında yapılmaktadır. Yeraltı üretiminde toplam 21 iş makinesi kullanılmaktadır. Bu makinelerden 8 tanesi otonom teknolojisi ile çalışmaktadır. Makine ve ekipmanların bakım ve onarımları periyodik olarak yılda bir kez akredite firmaları tarafından yapılmaktadır. Bunun dışında her 500 saat'lik yağ ve her 1000 saat'lik genel bakımlarıda kademede görevli çalışanlar tarafından periyodik olarak yapılmaktadır. Çizelge 4.3'te işletmede çalışanların sayısı ve branşları dağılımları görülmektedir.

Çizelge 4.10. İşletme Çalışan Sayısı ve Branş Dağılımları

İşletmede Çalışan Sayısı ve Branş Dağılımı			
Birim	**Çalışan S.**	**Birim**	**Çalışan S.**
Vardiya Amirleri (Maden Müh.)	9	Titan Personel Taşıyıcı	4
Vardiya Amirleri (Jeoloji Müh.)	7	Servis İşleri Tahkimat İşleri	19
İSG Birimi	2	Personel Takip	3
Çavuş/ Formen	7	Şantiye Şoförleri	4
Simba Operatörleri	5	Revir	4
Yeraltı Kepçe Operatörleri	15	Harita	4
Jumbo Operatörleri	7	Muhasebe	4
Shotcrete- Beton Personelleri	10	Nakliye Sorumluları	1
Yeraltı Kamyon Operatörleri	5	Pasif Eleman	3
CAT Operatörleri	6	Sondör	3
Nakliye Kamyon Operatörleri	16	Sondör Yrd.	7
JCM-Pause Operatörleri	7	Numuneci	3
Ateşciler	10	Karot	1
Eelektrik Birim Personelleri	7	XRF	1



Şekil 4.7.İşletmenin Yeraltı Çalışma Döngüsü

Çalışmanın yapıldığı işletmenin yeraltı çalışma döngüsü (Şekil 4.7) şu süreçlerden oluşmaktadır;

Kavlak Alımı-Tarama: İşletmede üretimin her sürecinde aktif olarak kavlak kontrolü Pause Scailer tarayıcı kullanılarak yapılmaktadır.

Tahkimat-Zemin Güçlendirme: Yeraltı madencilik faaliyetleri esnasında oluşan boşluk ve çukurların malzeme ile doldurulmasında; ağaç tahkimat, çelik tahkimat, tavan cıvatası, beton tahkimat ve dolgu malzemeleri kullanılmaktadır. Çalışmanın yapıldığı işletmede ocağın zemin yapısının durumu göz önünde bulundurularak püskürtme beton, hasırlama, swellex, split set, XA (demir bağlar) ile yapılmaktadır. İşletmede üretim öncesinde kavlak alımı-tarama işlemi yapılır. Kavlak alımı yapılan yüzeylere 2,4-2,5 m uzunluğunda basınç, su ve hava yardımıyla split set olarak bilinen tavan delgileri çakılır. Bu işlem formasyon dikkate alınarak püskürtme beton atıldıktan sonra veya tam tersi şekilde de yapılabilmektedir. Gerek görülmesi durumunda formasyonda dikkate alınarak tavana 5 m uzunluğunda ve 2 m genişliğinde hasırlı split setlerde yapıştırılabilmektedir. Formasyonun yapısında kil, pirit veya fay hattı söz konusu

ise XA (demir bağlar) yapılmaktadır. Bu işlemde demir bağlar birer metre arayla kurulur. Dolgu malzemesi ile boşluklar doldurulur son olarak üzerine beton dökülür.

Ölçüm İşlemleri: Harita biriminde yetkili kişilerce ölçümler yapılarak Netcad ve Micromine üç boyutlu programa işlenir.

Delgi: Jumbo Mine Master deliciler kullanılarak ayna delgiler üç metre uzunluğa kadar, tavan delgileri için ise Simba deliciler kullanılarak on sekiz metreye kadar delim yapılabilmektedir. Aynada delgi yapıldığı zaman ocak içine biriken sular şamandra kullanılarak havuzlarda toplanır. Ocak içinde toplam dokuz aktarma havuzu bir tane hidrofor bulunmaktadır. İşletme kapalı sistem ile çalışmakta olduğu için şamandra sistemi kullanılmaktadır. Galerilerde açılan havuzlara gelen su miktarı yaklaşık 1-1,5 m bulması durumunda şamandra devreye girmekte ve diğer havuzlara fazla su pompalanmaktadır. Aktarma havuzları hem diğer aktarma havuzlarının hemde kendine yakın aynaların sularını almaktadır. Son toplanma alanı ise ana hidrofor havuzudur.

Patlayıcı Şarj Etme-Patlatma**:** Jumbo deliciler kullanılarak açılan delikler anfo şarj makinesi ile şarjlama yapılmaktadır. Daha sonra yemleyici dinamit, excel kapsül, anfo, infilaklı fitil kullanılarak ocak dışından patlatma işlemi yapılmaktadır.

Gaz Takip Sistemi*:* İşletmenin yeraltı ocağında 8 adet fiber optik gaz sensörü bulunmaktadır. Yeraltı madencilik faaliyetleri esnasında, kritik kontrol noktalarına yerleştirilen sensörler vasıtasıyla ortamın gerçek zamanlı takibi sağlanmaktadır. Sensörler, ocak içindeki metan, oksijen, karbonmonoiksit, hava akım hızı, ortalama sıcaklık takibi gibi ölçümler yapmaktadır.

Gerçek Zamanlı Takip Sistemi (RTLS): İşletmede, çalışanların ve otomasyon makine ve ekipmanların takibi anlık olarak yapılmaktadır.

Havalandırma: Ocak'ta emici havalandırma sistemi kullanılmaktadır. Üretimin yapıldığı bölgelere temiz hava üfleyici fanlar ile verilmektedir. Patlatma sonrası ocak içinde istenmeyen gazların atılması ise emici fanlar ile yapılmaktadır.

Ocak içinde 315 KW'lık emici fan 90 KW'lık yedek fan bulunmaktadır. Ocağa giren toplam hava miktarı 2100 m^3/dk'dır.

Taşıma-Nakliye: Üretim süreçlerinde patlatma işlemi yapıldıktan sonra patlatılan ayna cevheri yeraltı kepçecileri ile yeraltı kamyonlarına yüklenmektedir. Tavan cevherleri ise otonom sistemli uzaktan kumandalı kepçe ve kamyonlar kullanılarak yerüstüne taşınmaktadır. Eğer ocak içindeki cevher, stok sahasının üst katlarında üretiliyor ise fereler aracılığıyla yeraltı kepçeleri doğrudan ocak içindeki cevheri stok sahasına döker. Cevher burada bulunan loderler aracılığıyla kamyonlara yüklenir ve ocak dışında cevher stok alanına getirilir. Kazı işi delme – patlatma uygulaması ile yapılmakta olup, kazılan cevher yeryüzüne yeraltı kamyonları ile nakledilmektedir. Günlük ortalama üretim 1000 ton civarıdır. Ocak dışındaki stoklanan cevher kamyonlar vasıtasıyla yaklaşık 18 km uzaklıkta bulunan cevher zenginleştirme tesisine (flotasyon) nakledilir.

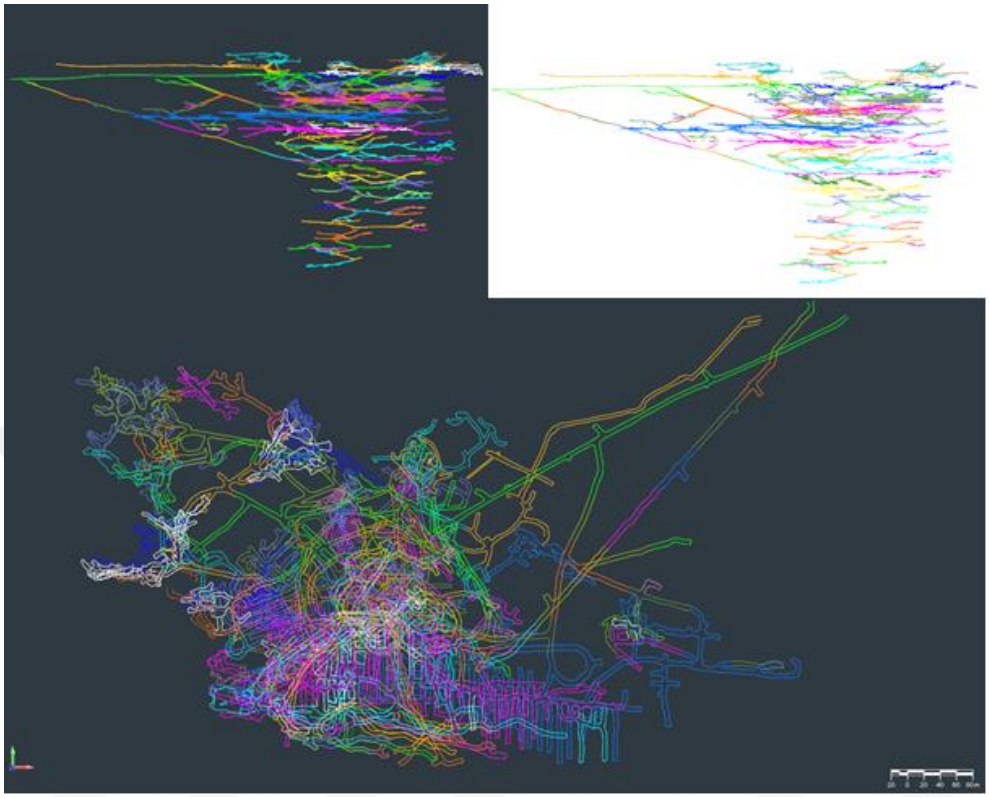
4.1.4. Yeraltı İşletmesinde Kullanılan Üretim Yöntemleri

Çalışmanın yapıldığı işletmede ara-katlı göçertmeli ve dolgulu üretim yöntemleri uygulanmaktadır. Çalışma sistemi 3 vardiya olup, her vardiyada 7,5 saat (haftada toplam 37,5 saat) çalışma yapılmaktadır. Üretim; delme, patlatma, yükleme, nakliye, tarama, havalandırma, tahkimat (ayna patlatmaları için) süreçleriyle sağlanmaktadır.



Şekil 4.8. İşletmenin Yeraltı Üretim Sürecinde Kullanılan Yer Altı Kazıcı-Yükleyiciler

Katlar arasında bulunan malzeme yüzeyde bulunan cevher depolama alanına taşınmaktadır. Killi olan duraysız ve zayıf kayaç formasyonlarının yer aldığı kütlelerin bulunması durumunda, gerekli tarama işlemi yapılır ve üretim bölgelerinin emniyetli hale gelmesi için tahkimatlar ile desteklenir (Agoro, 2019). Üretim sürecinde fay hatlarına karşı püskürtme beton ve XA (birer metre arayla demir bağ) atılarak tavan güçlendirme yapılmaktadır.

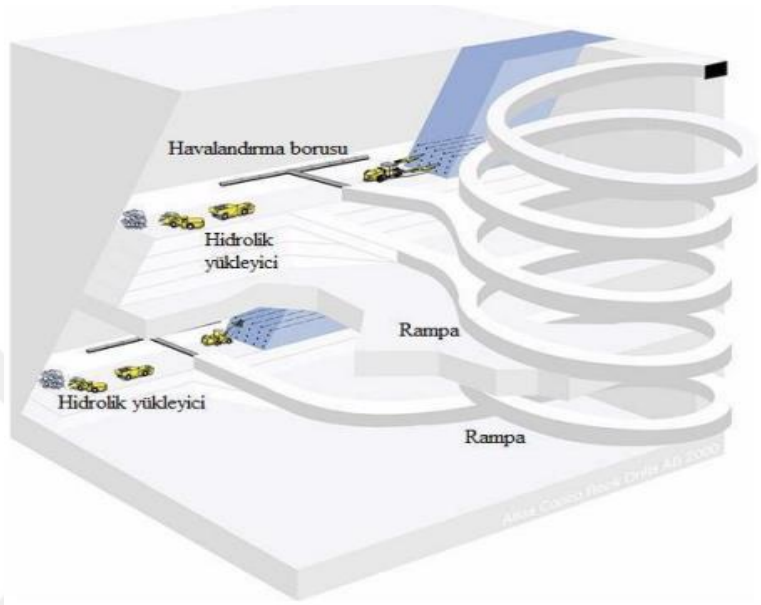


Şekil 4.9. Yeraltı İşletmesinin Üç Boyutlu Ekran Görünümü

4.1.4.1. Dolgulu Yöntem

Dolgulu yöntem, taban arınlı dolgulu üretim yöntemi olarak bilinmektedir. Dolgulu yöntem yukarıdan aşağıya yatay dilimli olarak uygulanmakta olup, genellikle dik arınlı damar halinde bulunan metalik cevherlerin kazanımında kullanılmaktadır. Bu usul, Türkiye'de en çok yer altı krom cevheri istihsalinde uygulanmaktadır (Demirci ve ark., 1996). Bu yöntemde cevher, 20-30 m aralıklı katlara bölünür. Her bir kat için yatay bir nakliye galerisi sürülür ve bu galeri çoğunlukla cevherin içinde hazırlanır. Daha sonra her katın altında veya üstündeki cevher 1,8-2,2 m yüksekliğinde sürülen galeriler aracılığıyla dilim şeklinde kazılır. Bunun devamında kazının yapıldığı yer, ferelerden getirilen malzeme ile doldurulur. Eğer cevher yatay olarak geniş bir yapıya sahip ise aynı katta birden

çok yatay galeri sürülerek üretim yapılır (Demirci ve ark., 1996; Saltoğlu, 1979; Köse, 1992).



Şekil 4.10. Yatay Dilimli Dolgulu Yöntem (Smith, 2008)

Yatay dilimli dolgulu üretim yönteminde kazılacak cevher dilimlere ayrılır. Spiral şeklinde sürülen rampadan kazılması planlanan cevhere yatay yönde galeri açılarak üretim katları oluşturulur. Bu ara katlarda cevher üretimi için delme ve patlatma işlemi yapılır. Üretim yapılan katlardaki boşluklar pasa veya beton ile doldurulur. Bu işlem hem bir sonraki katın çalışması için zemin oluşturmakta hemde iş ve işçi güvenliğini sağlamaktadır (Mamat, 2014).

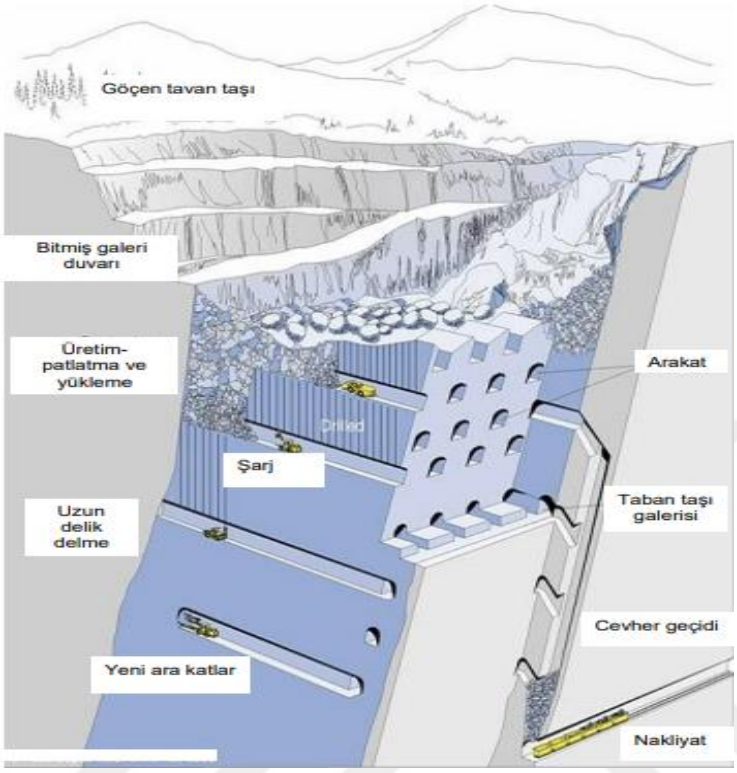


Şekil 4.11. Dolgu Yapılmış Bir Galeri (Mamat, 2014) ve Hazine Mağara Yeraltı Dolgulu Üretim Yönteminin Üç Boyutlu Ekran Görünümü

Çalışmanın yapıldığı işletmede, yerüstünde ve yeraltında yapılan sondaj sonucu elde edilen veriler jeolojik açıdan değerlendirilerek yorumlanmaktadır. Daha sonra veriler ışığında cevherin üretimi farklı kotlarda planlanır ve cevherin bulunduğu bölgeler, galeriler ile sürülür. Üretimin tamamlandığı bölgelerde düşük çimento oranlı (%6), yüksek çimento oranlı (%8) beton ve pasa gibi uygun dolgular kullanılır.

4.1.4.2. Arakatlı Göçertmeli Yöntem

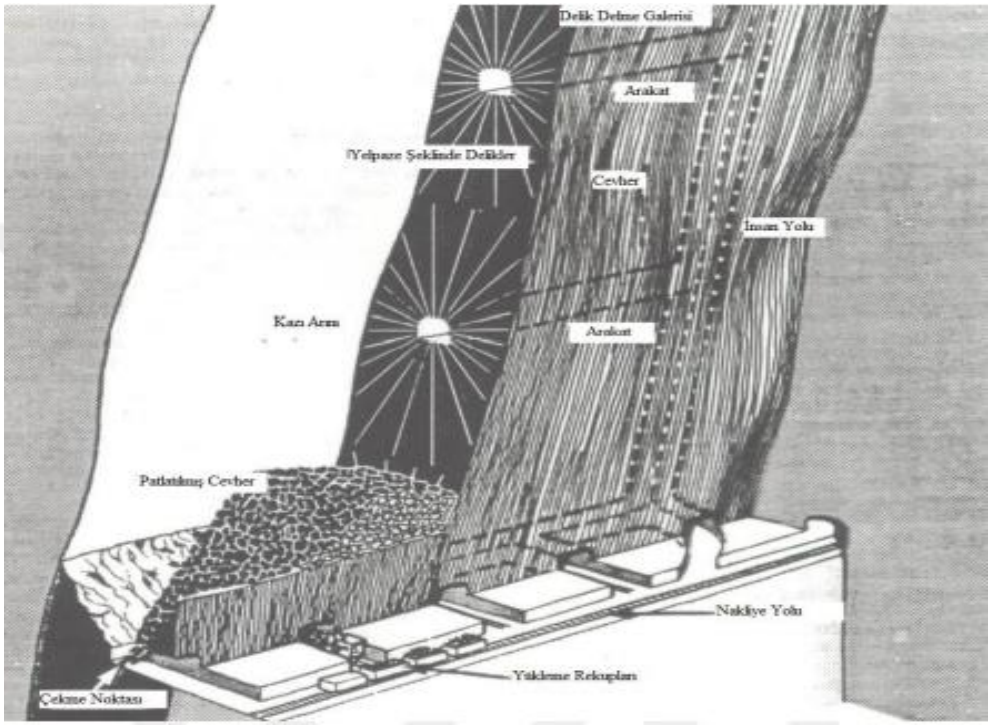
Bu yöntemde yüzeydeki örtü tabakası göçertilir, ara katlar arasında bulunan cevher alınır ve genel madencilik yönü aşağıya doğrudur. Cevher kazanımı sağlandıkça tavandan göçme olur. Yalnızca pasa olarak tanımlanan kaya göçertildiğinden cevher klasik yöntemlerle delinerek patlatılır.



Şekil 4.12. Ara Katlı Göçertmeli Üretim Yöntemi (Türkmen, 2009)

Şekil 4.12'de tavan taşı göçeceği için birinci ve ikinci açıklıklar taban taşında açılmıştır. Ara katlardaki galeri ve rekupların yakın ara katlardaki göçüklerden etkilenmemesi için uygun şekilde yerleştirilmiştir. Bu nedenle bir ara katta delinen fan şekilli delikler diğer ara katlardan çıkar. Ara katlı göçertmeli yöntemin, tasarım ve operasyonel pratikleri açısından en ileri madencilik yöntemi olduğu söylenebilir. Göçertmenin karmaşık olması ve kontrol gereksinimi nedeniyle iyi bir mühendislik gerektirir. Bu yöntem geniş damarlarda enlemesine, dik veya dike yakın olan damarlarda damarın geometrisi göz önünde bulundurularak dar damarlarda boylamasına uygulanabilir. Ara katlı üretim yöntemi kömür dışında mobil dizel motorlu ekipmanlar kullanılarak geniş çaplı mekanizasyon yöntemlerde kullanılabilmektedir. Bu yöntem genellikle sert kaya

madenciliğinde kullanıldığı için sürekli madencilik faaliyetlerinin yapıldığı veya tünel açma makinelerinin kullanımının yapıldığı yerlerde verimli değildir (Türkmen, 2009).

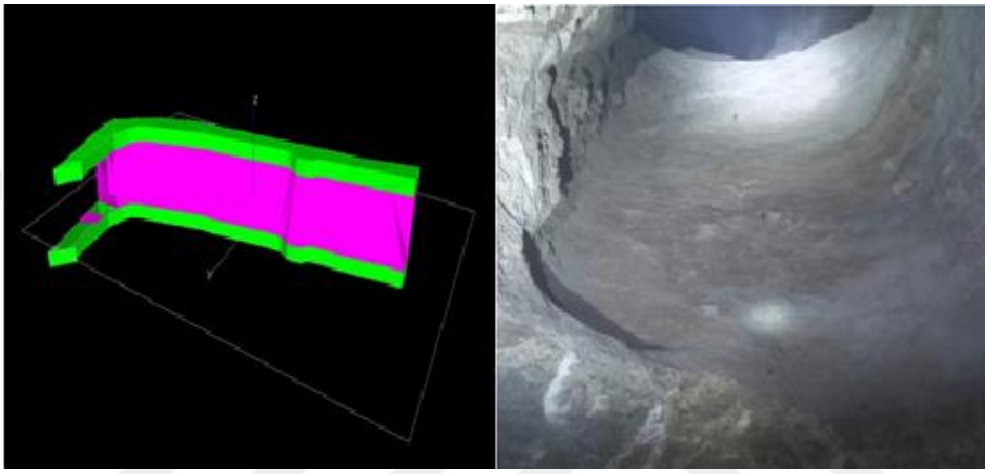


Şekil 4.13. Ara Katlı Kazı Üretim Yönteminin Perspektif Görünümü (Gertsch ve Bullock, 1988)

Ara katlı üretim yönteminin bir işletmede uygulanabilmesi için şu koşulları sağlaması gerekmektedir:

- Cevherin damar kalınlığı yeterli olmalıdır.
- Cevherin damar kalınlığı yeterli olduğunda dalım açısının yeterince dik (en az 60^{o}) olmalıdır.
- Hem taban hemde tavan taşında sağlam bir kayaç yapısı olmalıdır.

- Yantaş ve cevher birbirini tamamlamalı, yapısal bozukluklar (çatlak fay) olmamalıdır.
- Cevher sınırları düzenli ve cevher yapısının selektifk bir zenginleştirme yöntemine gereksinim duyulmamalıdır (Tatar ve Köse, 2011).



Şekil 4.14. Hazine Mağara Yeraltı Ara Katlı Göçertmeli Üretim Yöntem

Ara katlı üretim yönteminde kaya parçalamadaki temel yöntem delme ve patlatmadır. Yöntem, kazı arını sınırında pasa, düşük tenör veya dolgu malzemesinden kazanılan cevherin seyrelmesine neden olmaktadır. Aynı zamanda kazı arını sınırındaki verimsiz kayaç parçalanmaları da cevher kayıplarına neden olmaktadır. Bu nedenle, kazı arını sınırlarının tespit edilmesi yöntem için önemlidir (Erdoğan, 2017). Arakatlı üretim yönteminin, uygulama alanı geniştir, emniyeti yüksektir, mekanizasyona elverişlidir, tahkimat malzemesine olan gereksinim azdır. Buna karşın, hazırlık sistemi karışıktır, bir başka yönteme geçmek zordur, cevher seyrelme oranı yüksektir, selektif cevher üretimi zordur (DPT, 2001).

Çalışmanın yapıldığı işletmede selektif bir şekilde üretilen cevher, iki farklı kottaki katta, düşey süreklilik gösterdiği durumlarda ara-katlı yöntem uygulanmaktadır. Bu durum cevherin üretim esnasında kirlenmesini (seyreltmeyi)

artırmaktadır. Ara-katlı göçertmeli yöntemde, üretim maliyeti galeri üretimine göre daha düşük olduğundan avantajlıdır. Bu nedenle ara-katlı göçertmeli üretim yöntemi işletme koşullarına en uygun yöntem olduğu için tercih edilmektedir.

4.1.5. Acil Durum Planlama

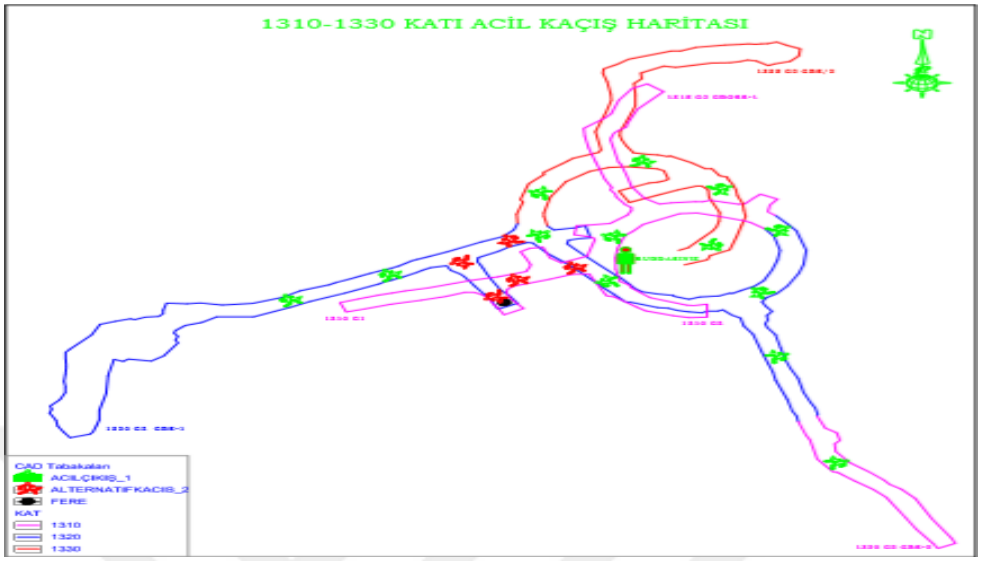
Acil durum, Acil Durumlar Hakkında Yönetmeliğin 4.md.'sinin a bendine göre, "işyerinin tamamında veyahut herhangi bir kısmında meydana gelebilecek, patlama, yangın ve doğal afet gibi durumlara karşı, ilkyardım ve tahliye gerektiren olaylar" olarak tanımlanmıştır. Aynı yönetmeliğin b bendine göre acil durum planı; "işyerlerinde ortaya çıkabilecek acil durumlarda yapılacak iş ve işlemlerde dahil olmak üzere hazırlanmış bütün bilgi ve uygulamalara yönelik hazırlanmış plan" olarak tanımlanmıştır. Bir işletmede acil durum planı hazırlama öncesinde; kontrol listeleri hazırlanır ve riskli durumlar gözden geçirilir, daha sonra riskler analiz edilerek derecelendirilir. Yapılan gözlem ve analiz sonuçları dikkate alınarak acil durum planı hazırlanır. Kapsam olarak, işletme sınırları içinde bulunan ve tehlikeli durumlardan etkilenebilecek makine, insan ve çevre gibi unsurların tamamı göz önünde bulundurulur. Acil durum eylem planının ilk aşaması acil durumların tespit edilmesi ile başlar. İşletmeler için acil durumlar için yapılması gereken hususlar şu şekilde sıralanabilir;

- Kazaya uğrayanların kurtarılması ve ilkyardımı,
- Makina ve ekipmanı zarara uğratacak zararın azaltılması,
- Yayılmayı önlemek ve durumu kontrol altına almak,
- Durumdan etkilenen bölge veya alanların güvenli hale gelmesinin sağlanması,
- Acil durum şartlarına ve olaylara neden olabilecek benzer durumlar için ekipman ve belgelerin muhafaza edilmesi,

- Yönetime ve şirket uzmanlarına gerekli bilgileri (sağlık, emniyet, güvenlik risk yönetimi) sağlaması,
- İhtiyaç duyulması durumunda basın ve yayın organları ile yetkili mercileri yönlendirmek olarak belirlenmiştir.

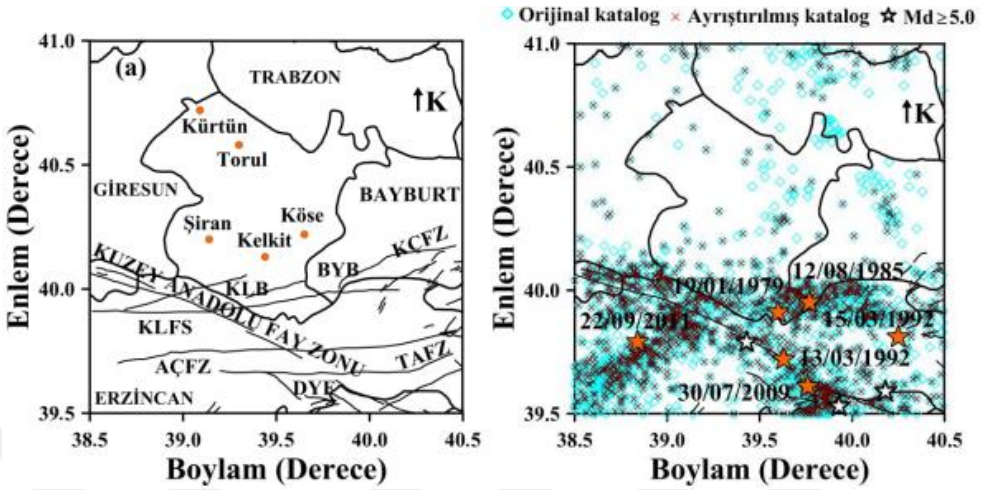
Acil durum planı hazırlanırken, deprem, yangın, göçük, kimyasal sızıntı, bulaşıcı hastalıklar gibi unsurların ekolojik dengeyi bozabileceği, can, mal kaybına neden olabileceği göz önünde bulundurulur.

Acil durum plan öncesinde bir ekip oluşturulur. Bu ekip; işveren/işvere vekili, iş güvenlik uzmanı, işyeri hekimi, teknik personel, iş yeri temsilcisi, destek elemanı ve işletmede mevcut risk konusunda bilgi sahibi kişiler yer almaktadır. Acil durum ekiplerinin koordinasyonu acil durum yöneticisi (işveren/işveren vekili) tarafından sağlanmaktadır. Oluşturulan ekipler; arama ekibi, kurtarma ekibi, tahliye ekibi, yangınla mücadele ekibi, ilk yardım ekibi ve teknik ekip gibi birimlerden oluşur (Bilim, 2020). Acil ve müdahale gerektiren, yangın, patlama, göçük, deprem, kaza gibi beklenmedik durumlarda riskin ilk tespit edildiği andan itibaren soğukkanlı şekilde hareket edilerek bir an önce uyarı butonuna basılır. Daha sonra herkesin acil durum öncesinde hazırlanmış olan acil durum planı doğrultusunda hareket etmesi sağlanır. İhtiyaç duyulması durumunda; işçi, işveren ve misafirlerin acil çıkışları (Şekil 4.15) kullanarak güvenli alana ulaşmaları sağlanır. Daha sonra elektrik ve doğalgaz kesilerek duruma müdahale edilir.



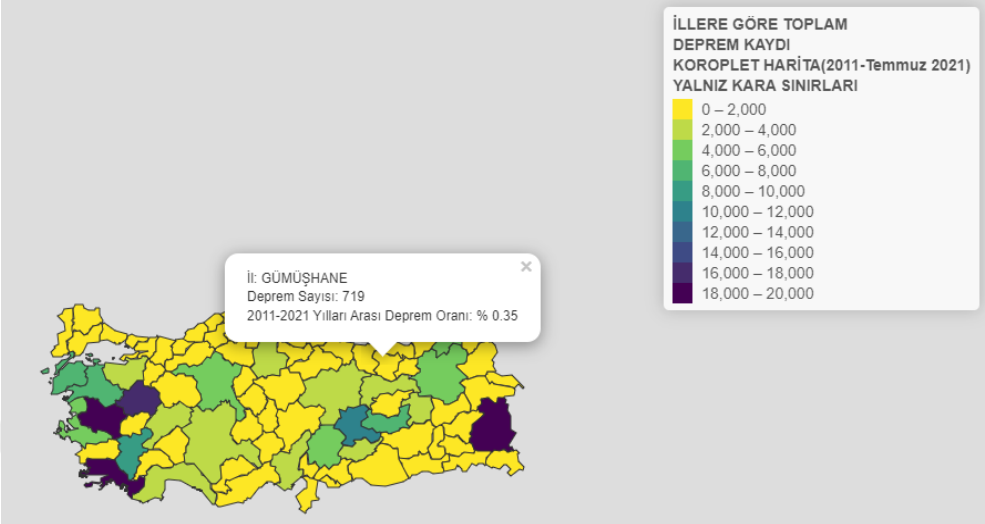
Şekil 4.15. 1310-1330 Katı Acil Kaçış Haritası

Madencilik sektörü çok tehlikeli iş kollarından birtanesidir. Bu nedenle acil durumların tespit edilmesi ve bu tehlikelerin riske dönüşme potansiyelleri iyi analiz edilerek çeşitli aksiyon planları geliştirilmelidir. Örneğin çalışmanın yapıldığı işletmenin yeraltı ocağında acil durumlarda kullanılmak üzere üretim alanlarına acil kaçış noktalarını gösteren acil çıkış haritası yerleştirilmiştir. Ayrıca yeraltında 28, yerüstünde ise 24 olmak üzere toplam 52 farklı noktada yangın tüpü bulunmaktadır. Yangın tüpleri, şantiye genelinde tüm binalarda, mekanik atölye, elektrik panosu, mazot tankı, jeneratör binası, kompresör binası, tüm iş makinaları-araç, ocak içi revir, ocak içi kavşak ve merkez noktalara yerleştirilmiştir.



Şekil 4.16 **(a)** Gümüşhane ve civarı için ana tektonik yapı. Faylar, Şaroğlu ve ark., (1992) ve Bozkurt, (2001)'den değiştirilerek alınmıştır. **(b)** 1970-2016 yılları arasındaki MD≥1.1 olan tüm depremlerle birlikte (orijinal katalog) MD≥2.8 olan ayrıştırılmış depremler. Yıldız sembolü MD≥5.0 olan bölge için büyük sayılabilecek depremleri göstermektedir. Bazı büyük depremlerin (sembolü) meydana geliş tarihleri şekil üzerinde verilmiştir (Öztürk, 2017).

Gümüşhane tektonik ve depremsellik bakımından Türkiye'nin en sakin bölgelerindendir. Bölgede aktivitesi yüksek fay hattı bulunmamaktadır. Ancak yaklaşık 80 km güneyinden geçmekte olan ve Türkiye'nin en aktif fay hatlarından olan Kuzey Anadolu Fay Zonu (KAFZ) nedeniyle olası büyük bir depremden etkilenme potansiyeline sahip bir bölgedir. Özellikle Harşit çayı boyunca inşa edilmiş (alüvyon zemin üzerine) yapıların KAFZ'nun aktif hale gelmesinden olumsuz etkilenmesi beklenmektedir (Taş ve ark., 2003).



Şekil 4.17. İşletmenin Bulunduğu Bölgenin Deprem Derecesi (https://deprem.afad.gov.tr/)

Şekil 4.17'de AFAD tarafından illere göre toplam deprem kaydı koroplet haritası (2011-2021) görülmektedir. T.C. Çevre ve Şehircilik Bakanlığı'nca hazırlanan deprem bölgesi ve hazırlanan verilere göre Gümüşhane 3. derece deprem kuşağında olup olası bir deprem anında az sarsıntı ve zararla geçtiği alan olarak belirlenmiştir.

Çizelge 4.11. Deprem Anında Yapılması Gerekli Acil Durum Eylem Planı (Kılıç ve ark. 2016)

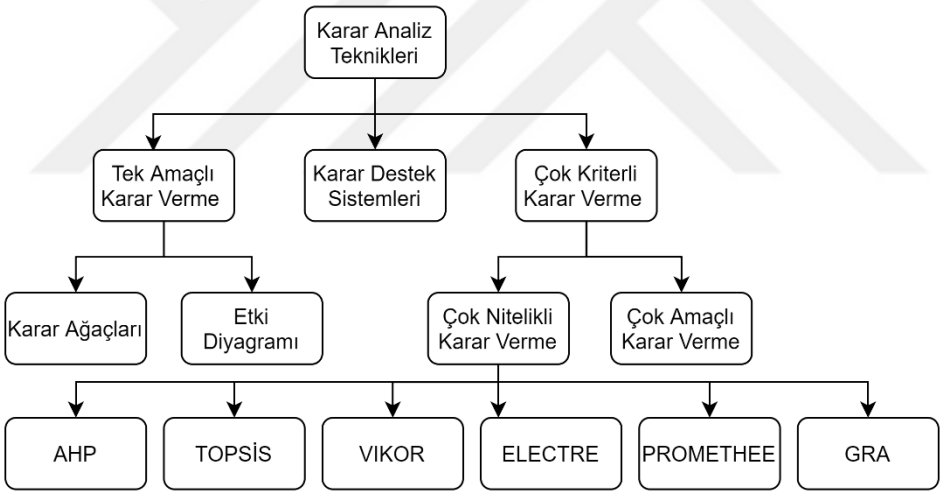
Deprem			
İşveren/İşveren Vekili	Acil durumu ilk tespit eden kişi acil durum sirenini çaldırır. Plana ait acil çıkışlar kullanılarak acil toplanma alanına gidilir.	Deprem bittikten sonra gerek görülürse ve imkân varsa kolluk kuvvetlerine ve diğer birimlerle iletişime geçilir.	Deprem sonrası; muhtemel riskli durumlar kontrol edilir (yangın, sızıntı)
Eğitim almış çalışan	İşyerinin elektrik ve doğalgaz ve suyunu kapsar	Bölgeye ait acil çıkış noktaları kullanılarak acil durum toplanma alanına gidilir.	Deprem sonrasında: Doğal gaz, elektrik gibi hatların sağlamlığı ve kaçak kontrolleri yapılır.
İşletmede bulunan çalışan ve diğer kişiler	Deprem anında ve sonrasında asansör kullanımına izin verilmez		
Acil Durum Ekibi	Acil durum ekipleri ihtiyaç durumunda göre tanımlarına uygun hareket ederler.		

Çizelge 4.4'te bir yeraltı maden işletmesine ait deprem anında yapılması gerekli acil durum eylem planı görülmektedir. Deprem anında işletme ekosisteminde bulunan (işveren/işveren vekili, çalışalar ve misafirlerin) her bir bireyin acil durum öncesinde hazırlanmış olan plan doğrultusunda hareket etmesi sağlanır. Depremde olduğu gibi diğer acil durum gerektiren haller içinde (yangın, patlama, göçük, gaz kaçağı sızıntısı, kaza, sabotaj, sel vb.) ayrı acil durum planı hazırlanır.

4.1.6. AHP Yöntemi

İnsan hayatının her aşamasında alternatifler arasından tercih yaparak en uygun olanı seçmek zorunda kaldığı durumlar söz konusu olmaktadır. Seçilen her alternatif yol için diğer alternatifler elenir (Kardam, 2001). Karar verme süreçlerinde karar teknolojilerinin (algoritma ve teoriler, karar analizleri vb.) veya

sayısal yöntemlerin olumlu etkileri bulunmaktadır (Carlson ve Fuller, 1996). Çok kriterli karar verme yöntemleri karar verme sürecinde tercih edilmesi karar vericilerin alternatifler arasından avantajlı olanı seçebilmeleri ve kaynaklarını daha verimli kullanabilmeleri açısından önemlidir. Bu yöntem ölçülebilen ve ölçümü yapılamayan pek çok operasyonel ve stratejik unsuru aynı anda karşılaştırma imkânı sunan ve sürece birçok katılımcıyı dahil edebilen analitik bir yöntemdir (Dağdeviren ve ark., 2005). Çok kriterli karar verme yöntemi; Çok Nitelikli Karar Verme (ÇNKV) ve Çok Amaçlı Karar Verme (ÇAKV) olmak üzere iki kısımdan oluşmaktadır (Phua ve Minowa, 2005). ÇNKV yönteminde sorunların çözümü için birden fazla kriter kullanılmaktadır. Bunlardan AHP, ANP, Promethee ve Electre en fazla tercih edilen yöntemlerdir (Timor, 2011).

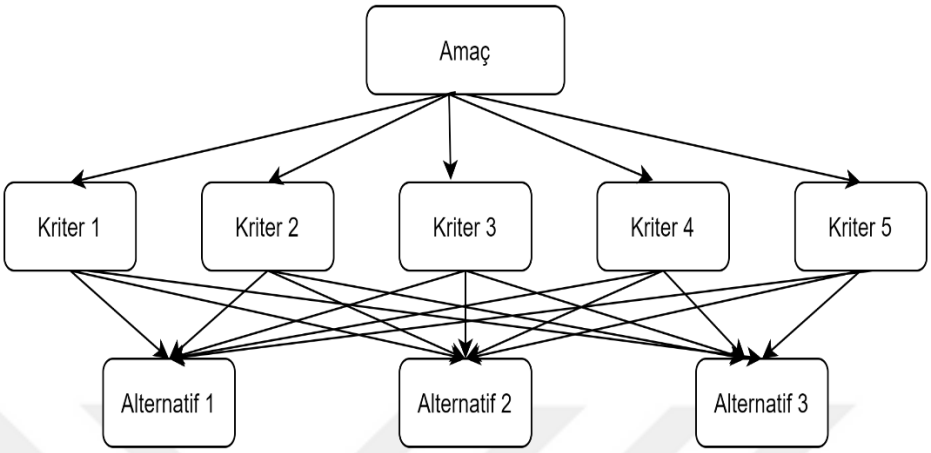


Şekil 4.18. Karar Analizi Tekniklerinin Sınıflandırması (Zhoud ve ark., 2006).

AHP yöntemini diğer yöntemlerden üstün kılan yanı kantitatif kriterlerin yanısıra kalitatif kriterleri de değerlendirmeye dahil etmesidir. AHP yönteminde hedeflenen problemler böl ve yönet mantığı ile çözümlenir.

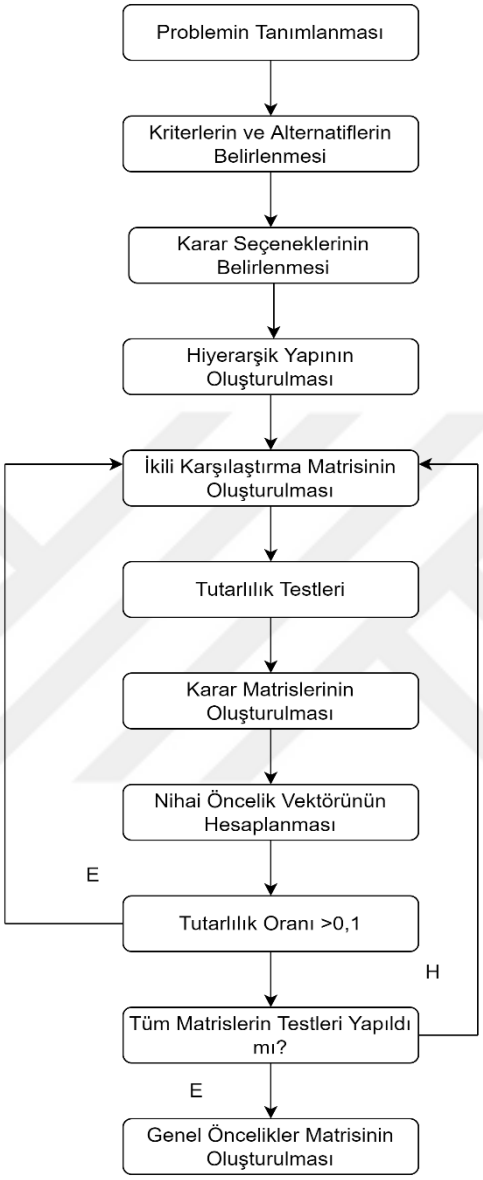
Karar verme problemleri çoğunlukla zorlu ve karmaşık yapıya sahip olabilmektedir. Bu nedenle büyük problemlerin küçük ve alt problemlere bölünmesinde yarar vardır (Ishizaka ve Nemery, 2013). AHP birçok değerleme kriteri dikkate alınarak çözümlemenin yapılabildiği esnek bir modelleme aracıdır. AHP kullanılarak yapılan çözümlerde, önce üst kriterlerin kendi aralarında karşılaştırması yapılır. Daha sonra alt kriterler kendi aralarında karşılaştırılır. Böylelikle büyük boyutlu karşılaştırma matrisine gereksinim duyulmadan çok sayıda kriter analiz edilebilmektedir (Timor, 2011; Bhutta ve Huq, 2002). AHP yöntemi kullanımı ve anlaşılması kolay bir yöntem olup Microsoft Excel ile rahatlıkla model kurulabilmektedir (Timor, 2011). Uygulama alanı geniş olmakla birlikte birçok sektörde ve yönetim seviyesinde karşılaşılan karar verme problemlerinin çözümünde kullanılabilmektedir (Önder ve Önder, 2018). AHP yöntemi grup kararları için diğer yöntemlere nazaran daha uygundur. Hem objektif hem de sübjektif görüşler sürece dahil edilebilmektedir (Tüzemen ve Özdağoğlu, 2007).

AHP yönteminin kullanımına yönelik bazı araştımacılar birtakım eleştiriler dile getirmektedir. Örneğin, AHP süreci tamamen karar vericilerin kişisel yargılarına dayanmaktadır. Yani her katılımcı için sübjektif olan tecrübe, bilgi düzeyi ve yargılar temel alınarak AHP için gerekli veriler oluşturulmaktadır (Shahrood ve ark., 2012). Analize sonradan kriter dahil edilmesi durumunda yapılan tüm analizin tekrar baştan yapılması gerekmektedir (Bhutta ve ark., 2002). Bir diğer olumsuz durum ise büyük boyutta matrislerin oluşturulmasında çok sayıda ikili karşılaştırma gereksinimine ihtiyaç duyulmasıdır (Ishızika ve Nemery, 2013). Bu durum yapılan analizin uzun sürmesine ve ciddi zaman kaybına neden olabilmektedir.



Şekil 4.19. Üç Seviyeli AHP Modeli (Thomas ve ark., 2001)

AHP yönteminin çözümünde izlenmesi gereken adımlar kısaca şu şekilde özetlenebilir: AHP çözümünde öngörülen problemin çözümü için hiyerarşik bir yapı oluşturulmalıdır (An ve ark., 2007). Daha sonra karar probleminin ana hedefi, kriterler, alt kriterler ve alternatifler hiyerarşik bir yapıda hazırlanmalıdır (Ömürbek ve ark., 2015).



Şekil 4.20. Analitik Hiyerarşi Proses Yönteminin Çözüm Akış Şeması (Çelikbilek ve Özdemir, 2017)

Şekil 4.20'de AHP yönteminin çözümünde izlenmesi gereken adımların akış şeması görülmektedir.

Buna göre birinci adım, problemin net olarak tespit edilmesi ve tanımlanması ile başlar. Tanımlanan problemin kriterleri/alternatifleri tespit edilir ve hiyerarşik yapı oluşturulur. Hiyerarşik yapı oluşturulduktan sonra kriterler için ikili karşılaştırma matrisi oluşturulur. Normalize edilmiş matris elde dilir. Tüm öncelikler vektörü hesaplanır. Son olarakta tutarlılık indeksi hesaplanır ve en iyi alternatif seçilir.

Kriterler ve alternatifler önem derecelerine (Çizelge 4.5) göre karşılaştırılır. Katılımcı sayısı dikkate alınarak kariterlerin ve alternatiflerin ikili karşılaştırma matrisleri oluşturulur (Cao ve ark., 2008; Başak, 2002).

Çizelge 4.12. AHP İkili Karşılaştırmalarda Kullanılan Göreli Önem Ölçeği (Saaty, 1980)

Satır-Sütun Sayısal Değer	**Sütun/Satır Sayısal Değer**	**Önem Derecesi**
1	1	Her iki faktör aynı derecede öneme sahip
3	1/3	Orta derecede daha önemli
5	1/5	Güçlü derecede önemli
7	1/7	Çok daha güçlü derecede önemli
9	1/9	Son derece önemli
2,4,6,8 Ara Değerleri Temsil Etmektedir		İki faktör arasındaki tercihte yukarıdaki açıklamalarda bulunan derecelerin ara değerlidir.
Karşılıklı değerler i,j ile karşılaştırırken bir değer (x) atanmış ise; j,i ile karşılaştırırken atanacak değer (1/x) olacaktır.		

Karşılaştırma işlemi her bir kriter ve alt kriterler için ayrı ayrı yapılır. İkili karşılaştırma matrisi oluşturulurken Eşitlik 4.2 kullanılmaktadır.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \tag{4.2}$$

Normalize edilmiş matrislerin elde edilmesinde Eşitlik 4.3 kullanılmaktadır.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^{n} a'_{ij} \tag{4.3}$$

(i, j= 1,2,3,….n)

Tüm önceliklerler vektörü her bir kriterin kriter ağırlığı ile çarpılması sonucunda elde edilir. Yapılan hesaplama sonunda her bir satır kriteri toplanır ve toplam kısmına yazılır.

Tutarlılık indeksinin hesaplanmasında Eşitlik 4.4 kullanılır. Ancak öncesinde λ_{max} değeri, Rassal İndeks (RI) ve Uyum İndeksi (CI) hesaplanmalıdır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{4.4}$$

λ_{max} değerinin hesaplanmasında Eşitlik 4.4 kullanılır.

$$\lambda_{max} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}.w_j}{w_i} \right) \tag{4.5}$$

Uyum indeksinin (CI) hesaplanmasında Eşitlik 4.5 kullanılır.

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \tag{4.6}$$

Rassal değer indeks (RI) seçiminde, kriter sayısı (n) dikkate alınarak seçim yapılır.

Göreceli önem hesabı yapılırken Saaty'nin özvektör yöntemi kullanılır (Garcia ve Lamata, 2009). Son aşamada ise tutarlılık indeksine bakılır eğer sonuç tutarlı (CR <0,1 değerinden küçük olmalı) bulunursa alternatifler öncelik sırasına göre en yüksek değerden en düşük değere doğru derecelendirilir.

4.1.6.1. AHP Yönteminde Uygulanması Gereken Adımlar

Analitik Hiyerarşi Proses yöntem sürecinde birincil olarak amaç belirlenmeli daha sonra bu amaç doğrultusunda amacı etkileyebilecek faktörler ve alt faktörler tespit edilmelidir. Faktörlerin belirlenmesinde kurum ve kuruluşlardan, uzman görüşlerinden, yapılmış akademik ve anket çalışmalarından faydalanılabilir. Bu yöntem, her bir problemi en az bir elemandan oluşan hiyerarşik bir yapı içinde tanımlar. Alt kısımda bulunan bir faktörün üst kısımda bulunan bir faktörü etkilediği varsayımına dayanır. Bundan dolayı ikili karşılaştırma yapılarak altta bulunan faktörlerin üstte bulunan faktörleri ne oranda etkilediği belirlenmeye çalışılır (Özbek, 2017). AHP yönteminin temelinde bir sistem analiz edilirken onun bileşenlerinin sosyal ve fiziksel yapısı, her bir bileşen ve bu bileşenlerin mevcut durumları, ana ve alt amaçlarının ne olduğu tespit edilmeye çalışılır (Evren, 1992). AHP yönteminde, sürece dahil edilmiş olan veriler değiştirilerek model tekrar test edilebilmektedir. Bu durum aynı zamanda sistemin bütün olarak değerlendirilmesine imkân sağlamaktadır. AHP yöntemi, ileri seviye teknikler gerektirmediğinden diğer yöntemlere nazaran daha kolaydır. Böylelikle karar vericiler nicel ve nitel faktörleri değerlendirerek tercihlerini doğru şekilde tespit edebilir. Ancak hiyerarşinin oluşturulmasının zor olması ve sübjektiflik içermesi nedeniyle net bir sonuca varılamayabilir. Karşılaştırma işlemleri grup sayısı

arttıkça işlem sürecinin uzamasına neden olmaktadır. Modelin ve yapılacak karşılaştırmaların matrisleri uzman ve deneyimli kişiler tarafından yapılmalıdır (Özbek, 2017). AHP yöntemi, karar vericilerin kendi bilgilerini, tecrübelerini ve deneyimlerini sürece dahil etmelerine olanak sağlayan bir yöntemdir.

4.1.7. Çalışanların Endüstri 4.0'a Yönelik Algı Seviyelerinin Ölçülmesi

Küreselleşme, demografik dinamikler, teknolojik ilerlemeler, kitlesel özelleştirme gibi megatrendler hem iş sektörü hemde toplum için bazı zorluklara neden olabilmektedir. Endüstri 4.0 ile günümüzde bu süreç çok daha karmaşık ve değişken hale gelmeye başlamıştır. İş ortamına bir tepki olarak, üstel teknolojik değişime ayak uydurmak ve sürdürülebilir kılmak için makro ve mikro boyuttaki birçok işletmenin bu süreci farklı stratejiler ile geliştirme gereksinimi ortaya çıkmıştır (Ramsauer, 2013). Yeni bir teknolojinin, uygulamanın veya iş modelinin çalışanlar tarafından benimsenmesi, yapılması planlanan değişimin geleceği açısından büyük öneme sahiptir. Literatürde çalışanların değişimlere yönelik algı seviyelerini ölçmek amacıyla birçok farklı alanda çalışma yapılmıştır. Örneğin; Sommer (2015), Endüstri 4.0'ın Almanya'da faaliyet gösteren şirketler tarafından nasıl karşılandığını araştırmıştır. Safar ve arkadaşları (2020), Endüstri 4.0-Güney Hindistan farkındalığını ölçmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Özoğlu ve Yılmaz (2020), İzmir ve Manisa'da bulunan bazı firmaların Endüstri 4.0 farkındalık analizi farkıdalıklarını ölçmeye yönelik bir çalışma yapmışlardır. Doğan ve Baloğlu (2020), üniversite öğrencilerinin Endüstri 4.0 farkındalık düzeylerini ölçmeye yönelik ölçek geliştirmişlerdir.

Bu kapsamda yapılan çalışma ile yeraltı maden çalışanlarının Endüstri 4.0 algı seviyelerini ölçmeye yönelik 29 soruluk tarama modelli tanımlayıcı bir model uygulanmıştır. Gümüşhane'de faaliyet gösteren bir yeraltı metal maden çalışanları araştırma örneklemi olarak belirlenmiştir. Hazırlanan anket formu 167 çalışan

üzerinde yüz yüze görüşülerek uygulanmıştır. Araştırma soruları demografik bilgiler, çoktan seçmeli (5) sorular ve açık uçlu (1) sorulardan oluşmaktadır.

4.2. Metot

Endüstri 4.0'ın net bir tanımı olmamakla birlikte işletme ekosistemine bağlı her sürecin bilişim, iletişim ve internet teknolojileri ile bağlantılı hale gelmesi olarak tanımlanabilir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin endüstride ve imalat sanayisinde kullanılmaya başlandığı bilinmektedir. Bu sistemler ve süreçler sensör, akıllı ve gömülü yazılımlar ile kontrol edilebilmektedir. Yakın gelecekte ise yapay zekâ destekli bütünleşik algoritmaların endüstriye entegrasyonu ile kendi kendini kontrol edebilen ve yönetebilen sistemlerin varlığı söz konusu olacaktır. Bu nedenle araştırmanın temelini Endüstri 4.0 teknolojileri oluşturmaktadır.

Bu tez çalışmasında bir yeraltı metal maden işletmesinin Endüstri 4.0 kapsamında kullandığı teknolojik uygulamaların iş güvenliği açısından etkileri araştırılmıştır. Çalışma üç aşamadan oluşmaktadır. Birinci aşamada işletmede kullanılan ve Endüstri 4.0 kapsamında olduğu değerlendirilen makine, ekipman ve bağlantılı sistemler (Pause, Hava Kapıları, RTLS, Gaz Takip Sistemleri, Fanlar, GeoSight CMS, Total Station, Simba ve Yeraltı Patlatma Sistem) incelenmiştir. İleri teknolojik uygulamaların (otomasyon, dijitalleşme, yapay zekâ, gerçek zamanlı takip vb.) üretim süreçlerinde kullanılmasıyla; hızlı, esnek, kaliteli, güvenli ve enerji tasarrufu gibi olumlu yansımalarının olduğu bilinmektedir. Önceleri riskli olarak değerlendirilen madencilik sektörünün ileri teknolojik uygulamalarla daha güvenli hale gelmeye başladığı değerlendirilmektedir. Yapılan çalışma kapsamında bu teknolojilerin işletmede, iş güvenliğine, üretim kapasitesine ve çalışan sayısına etkisi incelendiğinde; işletmenin 2010-2021 yılları arasında üretim miktarında, çalışan sayısında ve iş kazasında artış yaşandığı tespit edilmiştir. İşletmenin 2015 ve sonrasında aşamalı olarak Endüstri 4.0 uygulamalarını hayata geçirmeye başladığı bilinmektedir. İşgücü ağırlıklı

üretimden otomasyon ağırlıklı üretime geçiş yaşanmasına rağmen iş kazalarında artış yaşanmıştır. Kaza artışına neden olan hususların kök nedenlerinin tespit edilmesinde ise çalışmanın ikinci kısmını oluşturan Analitik Hiyerarşi Proses (AHP) yöntemi kullanılmıştır. AHP birden çok kriter içinden en iyi olanı seçmek için kullanılan bir yöntemdir. Yapılan literatür araştırmasında AHP kullanılarak yeraltı madenlerinde risklerin ağırlıklandırılmasına yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle alanında uzman kişilerin görüşleri alınarak yeraltı metal madenlerinde en çok iş kazasının yaşandığı beş kriter (aşırı özgüven, malzeme düşmesi, dikkatsizlik, makine kullanımı, bakım onarım) belirlenmiştir. Çalışmanın son kısmında ise çalışanların Endüstri 4.0 teknolojileri ile ilgili algı seviyelerini ölçmeye yönelik 29 sorudan oluşan tarama modelli tanımlayıcı bir anket uygulanmıştır. Çalışma soruları alanında uzman kişilerin görüşleri alınarak hazırlanmış ve test amaçlı sektörde aktif olarak çalışan mühendis, tekniker ve işçiden oluşan toplam 10 kişiye uygulanmıştır. Öntest sonucu elde edilen geri dönüşlerle düzenlenen nihai anket formu, çalışmanın yapıldığı işletmedeki 167 çalışana uygulanmıştır. Ancak 7 çalışanın anketi eksik ve hatalı doldurmasından dolayı 160 çalışanın verileri dikkate alınmıştır. Ankette çalışanların Endüstri 4.0 kapsamındaki teknolojilere yönelik bakış açıları, iş süreçlerine etkisi, yetkinlik düzeyleri, iş kazalarına ve meslek hastalıklarına etkisi gibi hususlara yönelik cevaplar aranmıştır.

4.2.1. Endüstri 4.0 Kapsamında İşletmede Kullanılan Teknolojiler

4.2.1.1. Yeraltı Bağlantı Sistemi

Bağlantılılık, işletme ekosisteminde, üretim, makine-ekipman, çalışan ve lokasyon takibinin sensörler, çeşitli gömülü yazılım, nesnelerin interneti (IoT) ve LAN (Local Area Network) gibi bileşenler üzerinden etkileşimine/iletişimine dayanmaktadır. Bu sisteme bağlı olmayan diğer ekipmanlarda gerekli donanımlar entegre edilmesiyle bağlantılı hale getirilebilir. Örneğin, cep telefonları, güvenlik

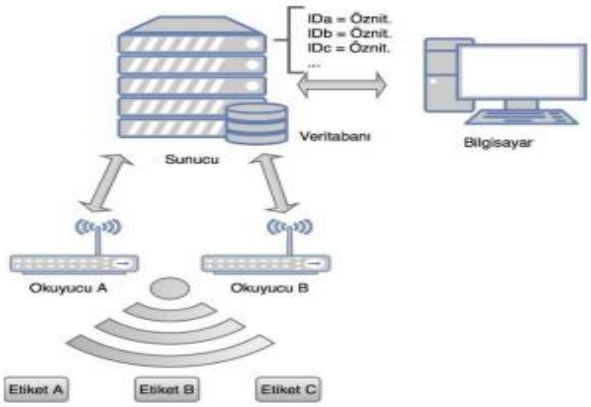
kameraları, makine ve ekipmanların internet gereksinimi gibi. Böylelikle işletmenin ve üretimin ana unsurunu oluşturan her paydaşın hikayesi (raporlama, kaynak yönetimi vb.) gerçek zamanlı olarak takip edilebilmektedir.

Madencilik sektöründe bilgisayarlı izleme ve kontrol sistemleri, kömür madenciliğinin gelişmeye başladığı dönemlerde ocak yangınlarının tespit edilmesi, uyarılması ve ölçülmesi amacıyla kullanılmıştır. Sonrasında bütün üretim sistemlerinde kullanılmaya başlanmıştır (Kocal ve Özçelik, 2002).

4.2.1.2. Gerçek Zamanlı Takip Sistemi (RTLS)

Kısıtlı ve dar alan çalışmalarının yapıldığı yerlerde konumlandırma sistemleri süreçlerin kontrol edilebilir olması açısından büyük önem taşımaktadır. Nitekim bu hususla ilgili hem akademik hemde ticari birçok çalışma yapılmaktadır. Yapılan çalışmalar genellikle çalışan sağlı ve güvenliği konusuna yoğunlaşmıştır. Özellikle madencilik sektörünün bir alt dalı olan yeraltı madenlerinde risk oranın yüksek olması ve kısıtlı alan olması nedeniyle konum bilgisi verebilecek yöntemlere ve algoritmalara gereksinim duyulmaktadır. Bu yerlerde konum tespitinin yapılabilmesi için kızıl ötesi ışınlar, radyo frekansları hatta görüntü analiz işlemlerine kadar birçok farklı yöntem kullanılmaktadır (Curran and Norrby, 2009).

Yeraltı üretim faaliyetlerinin yapıldığı yerlerde çalışanların güvenliği ve afet durumunda anlık takiplerinin yapılabilmesi her maden için endişe kaynağıdır. Kablosuz iletişim sayesinde çok tehlikeli işkollarından olan yeraltı madenleri günümüzde nispeten daha güvenli hale gelmeye başlamıştır.



Şekil 4.21. Klasik RFID Sisteminin Mimarisi (Amanna ve ark., 2010).

Şekil 4.21'de klasik bir RFID teknolojinin bileşenleri ve çalışma prensibi görülmektedir. Buna göre, RTLS (Real Time Location System)-RFID (Radio frequency Identification), RF cihazları kullanılarak radyo dalgalarının iletimi yoluyla verileri uzaktan almak için kullanılan otomatik bir yöntemdir. Örneğin bu teknolojilerin uygulama alanları dikkate alındığında, algılama cihazları çalışanlara bağlanabilir, böylelikle zehirli gazların varlığı erken tespit edilerek çalışma ortamı daha güvenli hale getirilebilir. Aynı şekilde taşıma, nakliye ve diğer operasyonlar için kullanılan araç ve gereçlere bu teknolojiler entegre edilerek (operatörlerce görüş mesafesi kısıtlı olan büyük damperli kamyonlar vb.) çarpışma ve kaza durumları önlenebilir (Bandyopadhyay ve ark., 2009). Bu özellikler sadece gelişmiş algoritmalar ve internet ile ilişkili olmayıp, aynı zamanda Endüstri 4.0'ın katma değerli bir bilginin işlenmesinde ve endüstriyel katma değerli süreci barındırdığını da göstermektedir (Lu, 2017). RFID teknolojisinin kapsama alanı en az işlevi kadar önemlidir. Kısa mesafelerde alçak frekans olarak 125 KHz (LF), yüksek frekans olarak akıllı kartlar, araç tespiti ve erişim denetimi için 13.56 MHz (HF), uzun mesafe uygulamalarında çok yüksek frekans olarak 433 MHz, bunun üstü (UHF), Wi-Fi ve Bluetooth gibi, mikrodalga frekanslar için ise 2.45 GHz kullanılmaktadır. Sistemin çalışması üç ana bileşen; etiket, okuyucu ve

denetleyiciden oluşmaktadır. Etiket, mikroçip ve anten olmak üzere iki bileşenden oluşmaktadır. Okuyucular, bağlantılı oldukları etiketler üzerindeki verileri yazabilen etiketlere veri aktarımı yapan cihazlara denir. Etiket ve okuyucular arasında iletişim, kablosuz ağ bağlantısı ile sağlanmaktadır. Denetleyiciler, yazılım ve veritabanı bulunan sunucudan (bilgisayar) oluşmakta ve RFID sistemine gömülü olan yazılımlarla veri akışını kontrol etmektedir (Bektaş ve Sondaş, 2016). Şekil 4.21'de örnek bir mimari RFID/RTLS sisteminin arka yüzündeki çalışma prensibi ve bileşenleri (bilgisayar, veri tabanı, sunucu, okuyucu ve etiket) görülmektedir (Çavur, 2018). RTLS'nin bir işletmede kurulumu ve çalışma prensibi kısaca şu şekilde özetlenebilir: RTLS için gerekli olan yazılımların server olarak kurulumu sağlanır. RTLS uygulamasının yapılacağı alanın planları ve çizimleri sisteme tanımlanır. Uygulama üzerinden takip ve izlemenin yapılacağı güzergâhlar tespit edilir. Belirlenen alan üzerinde, kalibrasyon işlemleri yapılır. Bu düzenlemeden sonra sistemin istenilen düzeyde ve performansta doğru sonuçlar verebilmesi için çok titiz bir çalışma yapılır. Belirlenen alan üzerinde, mümkün olduğu kadar sıklıkla (yaklaşık 1m) Wi-Fi sinyal seviyeleri, kalibrasyon takip sistemi ile RTLS sistemine kaydedilir. RTLS uygulaması aktifleştirilerek devreye alınır ve WLAN (Wireless Local Area Network) ortamındaki bütün Wi-Fi uç cihazları takip edilmeye başlanır. Farklı noktalara yerleştirilen cihazlardan elde edilen veriler merkezi kontrol odasındaki bilgisayara iletilir ve operatörler tarafından yorumlanır. Bu sistemlerin hızla gelişmesi ile çalışanların ve ekipmanların takibi, ziyaretçi izleme ve kontrolü, demirbaş-varlık kontrolü gibi hemen hemen birçok alanda kullanılabilmektedir. Aynı zamanda geçmişe dönük (yaklaşık bir yıl) yapılmış faaliyetler de raporlanabilmektedir. Bu teknolojilerin riskli ve çok tehlikeli sektörlerde uyarlanması/uygulanması işletmelere farklı şekilllerde avantaj sağlayabilir. Örneğin RTLS sisteminin madencilikte kullanılmasının beş temel nedeni şu şekilde sıralanabilir;

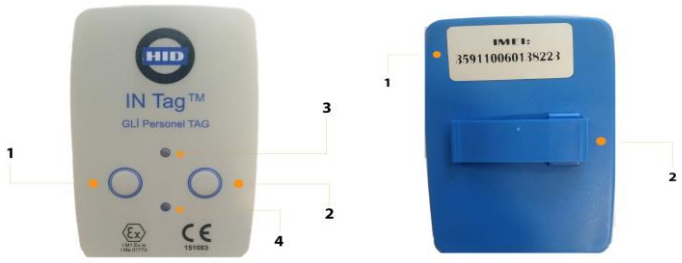
Yeraltı Maden Takibi ile Görünürlük ve Analiz**:** Endüstriyel RTLS, mobil cihazlar ve sensörler günümüzde madencilik işletmelerine birçok veriyi anlık ileterek işletmelere daha iyi karar verme ve acil durumlara müdahale fırsatı sağlar.

Maden Çalışanlarının Takip ve Güvenliğinin Sağlanması: Elektronik olarak etiketlenmiş maden çalışanlarının giriş-çıkış ve tahliye durumları izlenebilir. Elde edilen verilerin yorumlanmasıyla çalışanlar için daha güvenli bir çalışma ortamı sağlar.

Madencilik Araçlarının İzlenmesi ve Performanslarının Optimize Edilmesi: Araçlar ve sensörler takip edilmeli, dolum ve boşaltım yerleri izlenmeli optimize edilmiş kullanım için güzergâh ve tur süreleri kaydedilmelidir. Böylelikle geliştirilmiş bir üretim için raporlar hazırlanabilir ve analizler oluşturulabilir.

Talep Üzerine Havalandırmanın Etkinleştirilmesi: İş sağlığı ve güvenliğinin geliştirilmesinde maliyet tasarruflarından faydalanılması önemlidir. Örneğin konum bilgisinin havalandırma sistemine entegre edilmesi ile enerji kullanımı optimize edilebilir.

Enerji ve Çevre Yönetimi: Enerjide gerekli verimliliğin artırılabilmesi için sıcaklık, voltaj, gaz ve nem seviyeleri izlenebilir. Bunun için durum raporları hazırlanmalı ve daha önce tespit edilmiş seviye aralıklarının dışına çıkıldığında uyarı alınarak gerekli müdahale sağlanabilir (www.orbcomm.com). Bu nedenle gerçek zamanlı konumlandırma sisteminin bir işletmede uygulanması iş süreçlerinden elde edilen verilerin hızlı ve doğru bir şekilde analiz edilebilmesi açısından önemlidir. Şekil 4.22'de örnek bir RTLS uygulaması olan çalışanların, stajyerlerin, işverenlerin ve ziyaretçilerin yeraltı ocağına inmeleri durumunda yanlarında bulundurma zorunluluğu bulunan Tag yer almaktadır.

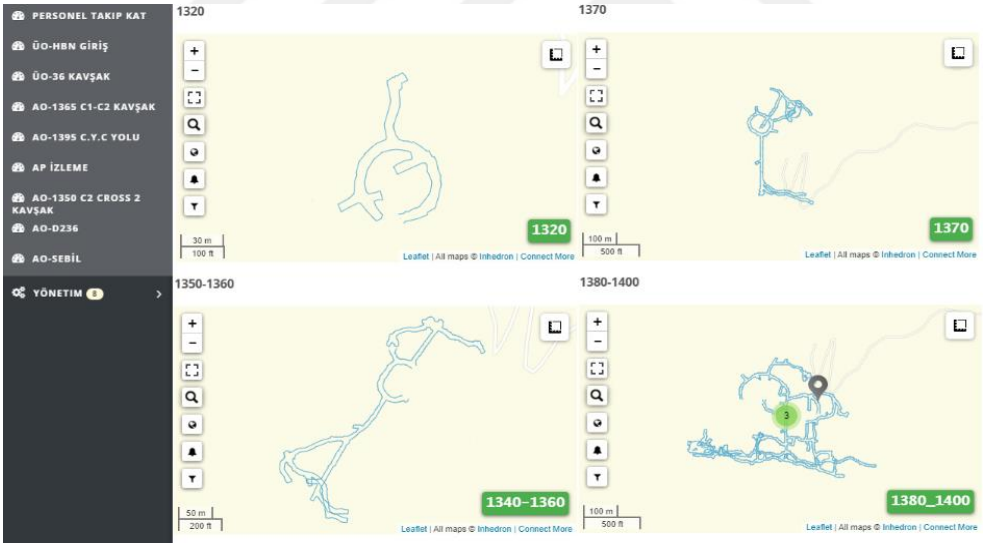


Şekil 4.22. Personel Takip Cihazı (Tag)

Radyo frekans ile kimlik tanımlama olarak bilinen RFID sistemler, etiket (Tag) ve okuyucular (Reader) olmak üzere iki temel bileşenden oluşmaktadır (Karaca, 2010). Tag'ların genel özellikleri kısaca şu şekilde özetlenebilir; cihazının ön yüz ve arka yüz görünümü yer almaktadır. Cihazın sol ve sağ kısmında bulunan 1 ve 2 nolu butonlar acil durum alarmını sisteme iletir. Üst kısımda bulunan 3 nolu buton ise üst led kısmı sarj olduğunda ve butonlara basılması durumunda yanan leddir. Alt kısımda bulunan 4 nolu alt led ise Tag'ı taşıyan çalışanlara acil durumlarda kontrol merkezine uyarı mesajı göndermek amacıyla kullanılmaktadır. Cihazın arka kısmında bulunan 1 nolu kısım IMEI benzersiz numarası, 2 nolu kısım ise taşıyıcının takması için gerekli olan aparattır. Personel takip cihazı, kablosuz ağ üzerinden dış ortamda GPS, kapalı ortamlarda ise Wi-Fi ve hareket sensörleri aracılığıyla gerçek zamanlı konum takibi için kullanılmaktadır. Daha önce belirlenmiş ortamda konfigüre edilmiş SSID'si ve parolası bilinen kablosuz ağları ± 10m / hassasiyette tarayarak tespit edilen konumu merkezi sunuculara iletir. Üzerinde bulunan hareket sensör yardımıyla çalışanların hareket halinde olup olmadığını tespit eder.

Çalışanların gerçek zamanlı takibi ile ilgili 24 Mart 2016 tarihli 29663 sayılı Resmî Gazete'de yayınlanarak yürürlüğe giren Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmeliğin 2.md.'si ile yeraltı maden işletmelerinde çalışanların takip edilmesi 01.01.2017 tarihinden geçerli olmak üzere zorunlu hale gelmiştir. Bu sistem, işletmede 2017

yılı itibari ile kullanılmaya başlanmıştır. İşletmede yeraltı tesisine giren çalışan, işveren ve misafirlerin Tag cihazını taşıma zorunluluğu bulunmaktadır. Bu sistemin işletmede anlık takibini sağlayan operatörler; dikkatli, teknolojik gelişmelere duyarlı ve ilgili, iletişim becerisi yüksek, diksiyonu iyi ve duyma problemi olmayan çalışanlar arasından seçilmiştir. Sistemin sorunsuz akışının sağlanabilmesi için her vardiyada bir operatör bulunmaktadır. Personel takip sistemi, çalışanların anlık lokasyonlarının yanı sıra, kazaya uğrama, bayılma veya haber alınamaması gibi durumlarda çalışanların anlık durum tespitini yapmaktadır. Böylece tehlikeli veya olası kontrol dışı bir durum karşısında çalışanların bulunduğu lokasyon, sistem üzerinden tespiti yapılır ve duruma müdahale edebilme fırsatı sağlar. Şekil 4.23'te personel takip sisteminin operatörlerce takibinin yapıldığı programın ekran görünümü yer almaktadır.



Şekil 4.23. Personel Takip Sistemi Ekran Görünümü

Gerçek zamanlı konum belirleme sistemi, yeraltı maden işletmelerinde; kablolu ve kablosuz Wi-Fi olmak üzere iki şekilde kullanılmaktadır. Çalışmanın

yapıldığı yeraltı işletmesinin yaklaşık 6 km'lik alan kablosuz Wi-Fi ile takip edilmektedir.

Bölgesel bazlı takip sistemleri çeşitli frekans ve konfigürasyonlarda olabilmektedir. Her üretici firma kendi ürününe özgü özellikler geliştirebilmektedir. Bu durum dikkate alındığında, bir okuyucunun kapsama alanı yaklaşık 100 m çapına kadar çıkabilmektedir (Gürtunca, 2009). Çalışmanın yapıldığı işletmenin yeraltı tesisinde bu mesafe 80-100 m arasında değişkenlik göstermektedir.

4.2.1.3. Yeraltı Otonom Kapılar

Otonom kapılar, işletmede muhtemel ocak havasının kirlenmesini engelleyerek, çalışanların daha temiz ve daha güvenli bir çalışma ortamı oluşturmak amacıyla kurulmuştur. Ocak içinde temiz hava kaybının istenmediği yerlere ve yeraltı makinalarının manevra yapamadığı lokasyonlara kurulmuştur. Kapıların kurulumunda mevzuatın getirmiş olduğu zorunluluklar, ekonomik maliyetler, çalışan sağlığı ve güvenliği gibi hususlar dikkate alınmıştır.



Şekil 4.24. İşletme Manuel Kapılar



Şekil 4.25. İşletmenin Ocak Giriş/Çıkış Kapısı

Çalışmanın yapıldığı işletmede toplam 14 hava kapısı bulunmaktadır. Bu kapıların 2 tanesi 2017 yılında, 3 tanesi 2019 yılında kurulmuştur. Kalan 9 tanesi ise manuel kapılar olup 2010 yılından günümüze kullanılmaktadır. Otonom kapılar muhtemel riskli veya arıza durumlarında manuel olarak da kullanılabilmekte olup sistem operatörler tarafından anlık takip edilmektedir.

Kapıların kontrolü, galeri hava kapısı giriş kısmında bulunan ana panel üzerinden, yerüstü kısmında ise personel takip odasında bulunan HMI panel üzerinden sağlanmaktadır. Kapılara yetkili elektrik bakım personeli dışında müdahale edilmesi yasaktır. Enerji altındayken kapılarda çalışma yapılmasına izin verilmez. Ancak zorunlu durumlarda elektrik bakım sorumlusu tarafından gerekli güvenlik önlemleri alındıktan ve teyit gerçekleştikten sonra çalışmanın yapılmasına onay verilir.



Şekil 4.26. Ocak Hava Kapısı Kapalı

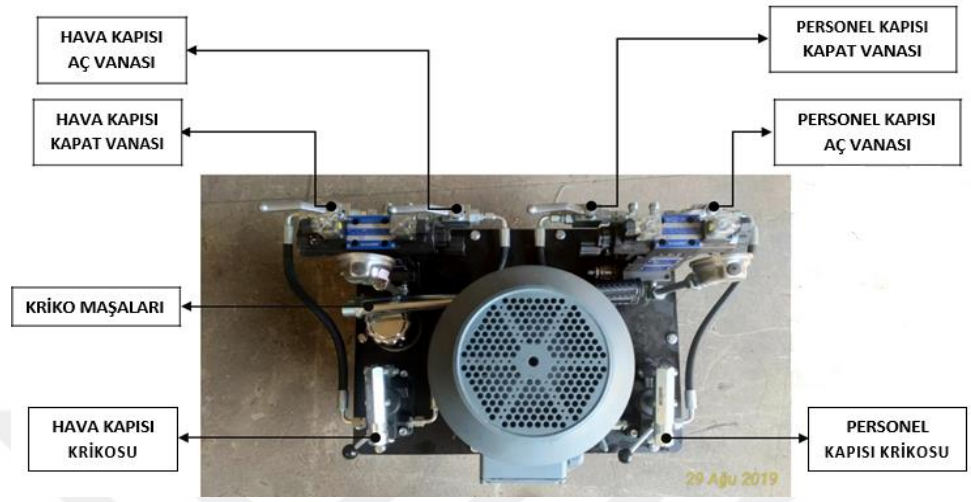
İşletmenin yeraltı kapı giriş ve çıkış noktalarının bulunduğu alanlara (10 m) kapılar ile eş zamanlı çalışan sensörler yerleştirilmiştir. İki hava kapısı arasındaki mesafe yaklaşık 20 m'dir. Bu tür sistemlerin çalışmasında; basınçlı sistemler, kızıl ötesi sensörler, lazer sensörler ve manyetik kartlı sistem gibi farklı sensörler kullanılabilmektedir. İşletmenin otonom kapılarında ise lazer tipi sensör kullanılmaktadır. Hava kapıları kapalı konumda iken, aracın geldiği yönde bulunmakta olan lazer sensörlerin önünde bekleme süresi 5 sn. olup bu süre içinde kapılar açılmaktadır.



Şekil 4.27. Ocak Hava Kapısı Açık

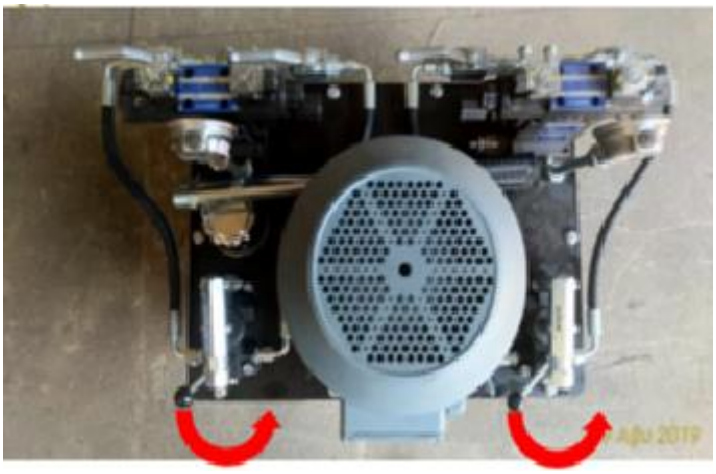
Kapıların açık olma halinde aracın giriş yönünde bulunan trafik lambası yeşil yanarken, karşı yönde bulunan trafik lambası ise kesikli kırmızı şeklinde yanmaktadır. Araçların galeri hava kapısının sağ-sol kanatlarının tamamen açık ve giriş yönündeki yeşil trafik ışığı yanmadan geçiş yapmaları tehlikeli ve yasaktır. Galeri hava kapısının kanatları açık iken bekleme yapmadan geçiş yapılmalıdır. Aksi takdirde araçların kapı kanatları arasında sıkışma riski vardır. Otomasyon sistem ile çalışan hava kapıları ihtiyaç duyulması durumunda manuel olarak da kullanılabilmektedir.

Kapıların Manuel Kullanımı; kapıları besleyen enerji hattında bir sorun çıkması durumunda çalışanların takip etmesi gereken adımlar aşağıda belirtildiği gibi olmalıdır.



Şekil 4.28. Hava Kapılarının Manuel Kullanımı

Krikoların alt kısmında bulunan hava kapısı, aç vanası ve personel kapısı krikosu, bulundukları konumdan Şekil 4.29'da görüldüğü gibi sağa doğru değiştirilir ve kriko maşalarına monte edilir.



Şekil 4.29. Hava Kapılarının Kapalı Konumdan Açık Hale Getirilmesi



Şekil 4.30. Hava Kapılarının Manuel Açılması

Hava kapısı aç vanası ve personel kapısı aç vanası 90 derece çevirilir (Şekil 4.30). Daha sonra kriko maşası ile aşağı-yukarı hareketle sisteme yağ pompalanır ve kapılar açılır. Sisteme elektrik geldiğinde krikoların alt kısımlarında bulunan kollar ve açma vanaları eski konuma getirilir. Kriko maşaları demonte edilerek hidrolik ünite üzerindeki yerine bırakılır. Otonom kapıların kullanımı sayesinde temiz ocak havası-kirli ocak havası ayrımı yapılabilir. Böylelikle kirli havanın temiz havaya karışımı engellenerek, temiz havanın direk üretim alanlarına iletilmesi ve galerilerde çalışanların temiz hava ile buluşması sağlanır. Otonom kapılar kullanılarak ocak içinde bulunan temiz hava kaçaklarından kaynaklı kayıpları en aza indirilebilir. Ayrıca ocak içinde bulunan kapılardan birinden geçiş yapan araç, geçiş yapılan kapı kapanmadan bir diğer kapının açılmasına izin vermeyerek ocak havasının kirlenmesini engeller. Her otonom kapının yanında acil durumlarda kullanılmak üzere sistemin manuel olarak devreye girmesini sağlayan paneller bulunmaktadır. Paneller elektrik kesintisi, kavlak düşmesi, kısa devre, araç çarpması, kabloların ezilmesi gibi durumlarda çalışanlarca kapıların manuel olarak açılabilmesine imkân sağlar. Böylelikle tehlikeli ve riskli durumlarda çalışanların

kapıları manuel açması ve güvenli alanlara ulaşmaları sağlanır. Benzer durumlarda sistemin aktif olarak çalışması için jeneratörler (880 KW'lık jeneratör ve yaklaşık 350 Amper) devreye girmektedir.

4.2.1.4. Ocak Fanları ve Takip Sistemi

Hava, madenin girişinden veya bir şafttan dikey olarak içeriye girer. Ocağa girişte tüm yolları kullanır ve belirli bir noktadan egzoz edilir. Havanın, ocak içerisinde bu şekilde gezdirilmesi fan aracılıyla gerçekleşir (Andıç ve Kılıç, 2015). Fan, basınç farkı yaratarak havanın akışını sağlayan cihazlardır. Havalandırma, yeraltı madencilik faaliyetlerinin daha sağlıklı ve güvenli bir ortamda sürdürülebilmesi için yeterli temiz havanın ocağa gönderilmesi işlemidir (Polat ve Didari, 2020).

Havalandırma sistemleri madencilik faaliyetlerinde, kimya sektöründe, tünel inşaatlarında, kapalı alan çalışmalarında, endüstriyel tesis gibi birçok alanda kullanılmaktadır. Fan sistemi çalışma alanlarında bulunan toz, gaz, kimyasallar gibi havanın kalitesini düşüren birçok zararlı maddenin ortamdan uzaklaştırılarak daha kaliteli, sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı sağlar. Yeraltı maden ocaklarında havalandırma, ocak içi faaliyetlerinin sorunsuz bir şekilde gerçekleşebilmesi hem çalışanların sağlığı ve güvenliği hem de kullanılan ekipmanların güvenliği için önemlidir.



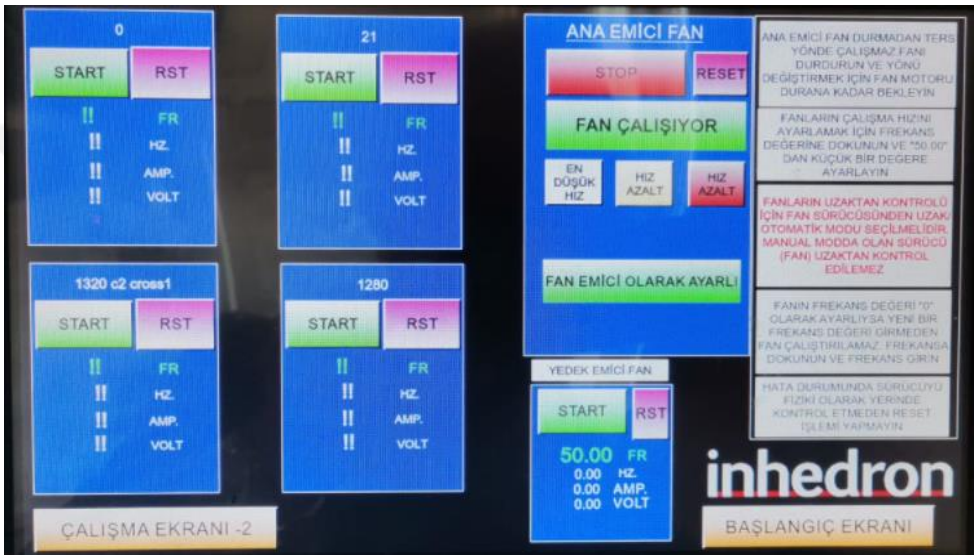
Şekil 4.31. Emici Fan (315KW) ve Yedek Fan(90KW)



Şekil 4.32. Üfleyici Fan (75KW)

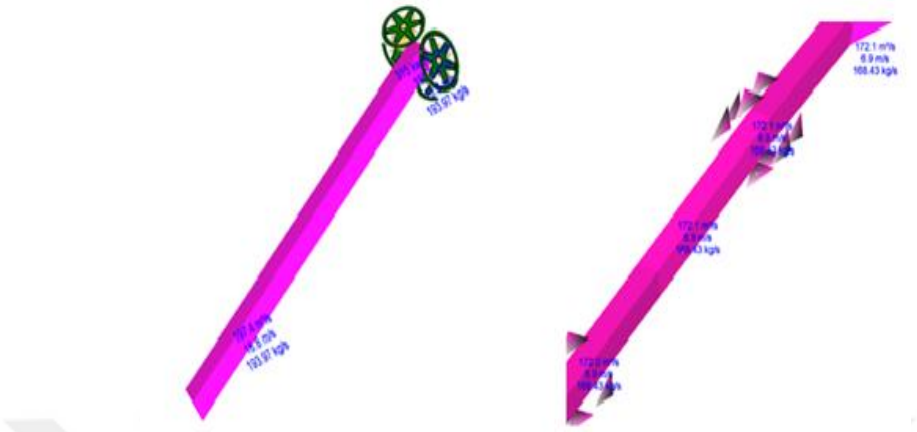
Çalışmanın yapıldığı işletmede toplam 13 fan bulunmaktadır. Emici fanlar 4 tane olup sabit şekilde yerleştirilmiştir. Bu fanlardan 315 Kw'lık fan ana emici olup galerilerin tamamını havalandırmaktadır. Ana fanın yanında 90 Kw'lık yedek fan bulunmaktadır. Yedek fan ana fanda yaşanabilecek herhangi bir arıza durumunda otomatik olarak devreye girmektedir. Diğer iki fan ise 55 Kw'lık olup uzun galerilerde takviye amacıyla kullanılmaktadır. Emici fanlar galerilerde

havanın bölünmesi göz önünde bulundurularak, gerekli hava ölçümü yapıldıktan sonra yerleştirilmektedir. Üfleyici fanlar ise 9 tane olup, 2 fan 75 Kw'lık, 2 tanesi 30 Kw'lık, 3 tanesi 18 Kw'lık, 2 tanesi ise 22 Kw'lıktır. Üfleyici fanlar ocakta ihtiyaca göre yerleştirilmiş olup gerek görülmesi durumunda farklı noktalara taşınabilmektedir.



Şekil 4.33. Ocak İçi Fan Sisteminin Ana Sunucuda Takibinin Ekran Görünümü

Fanların; haftalık, aylık, altı aylık ve yıllık olmak üzere belirli dönemlerde periyodik olarak bakımları yapılmaktadır. Ancak en önemli bakımlar altı aylık ve yıllık bakımlardır.

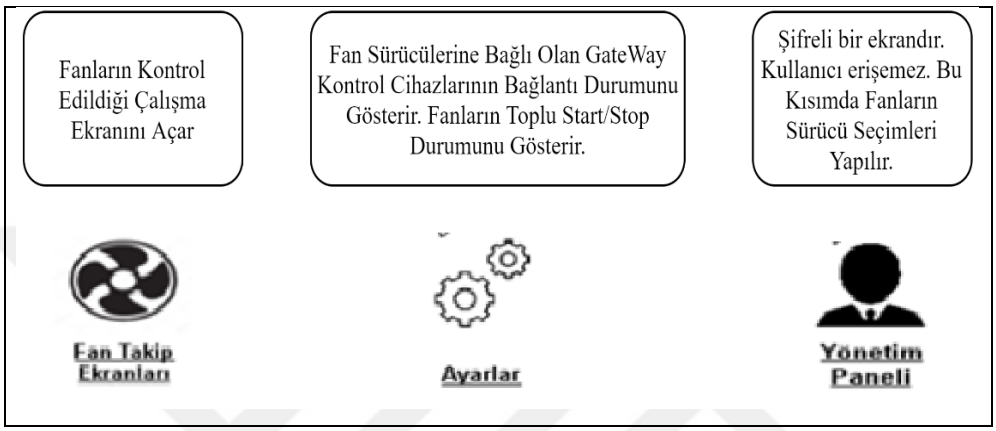


Şekil 4.34. Temiz Hava Girişi (Üfleyici) ve Kirli Hava Çıkışı (Emici Fan)

Şekil 4.34'te yer alan emici fanda kirli ve temiz hava giriş değerleri görülmektedir. Buna göre 197,4 m^3/sn'de geçen kirli hava miktarını, 18,8 m/s'deki hava hızını ifade etmekte iken, 193,97 kg/s ise saniyedeki kirli hava ağırlığını ifade etmektedir. 172,1 m^3/sn'de geçen temiz hava miktarını, 6,9 m/s saniyedeki hava hızını, 168,43 ise saniyedeki hava ağırlığını ifade etmektedir. Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'nin Ek-3 kısmında yer alan Yeraltı Maden İşlerinin Yapıldığı İşyerlerinde Uygulanacak Asgari Özel Hükümler kısmında ocaktaki hava miktarı; "temiz hava giriş yolu ve havanın ayrıldığı bütün kollarda dâhil olacak şekilde, hava ölçüm istasyonları kurularak, gerekli ölçümler yapılmak suretiyle takibi yapılır. Hava hızı her halde 0,5 m/s'den az olamaz. Ocak havasında %19' az oksijen, %2'den çok metan, %0,5'ten çok karbondioksit, 50 ppm (%0,005) den çok karbonmonoksit ve diğer tehlikeli gaz bulunan yerlerdeki gerekli güvenlik önlemleri alınarak mevcut olan yerlerde gerekli güvenlik önlemleri alınarak tehlikeyi bertaraf edici ve önleyici faaliyetler dışında herhangi bir çalışma yapılmaz" şeklinde belirtilmiştir.

İşletmede her fanın yanında bir pano, her fanın çalışabilmesi için de frekans konverter bulunmaktadır. Frekans konverterler 50 Hz. olan şebeke gerilimini bir anda emici fana vermek yerine 0 Hz'ten 50 Hz'e ayarlanan süre (bu

süre fanın büyüklüğüne göre değişkenlik gösterebilmekte) içinde kademeli olarak verilmesini sağlar. Sistemin takibi yeraltına yerleştirilmiş olan Acces Point ile sağlanmaktadır.



Şekil 4.35. Akıllı Fan Sistem Ana Ekranı

Fan kontrol sistemi dört temel bileşenden oluşmaktadır: Personel takip odasında bulunan kontrol bilgisayarları, diğer odalarda bulunan izleme ekranları, fanların panolarına bağlanan GateWay (ağ geçidi) cihazları ve fanlar ile kontrol bilgisayarları arasında iletişimi sağlayan bağlantı kabloları. Bir fanın uzaktan kontrolünün sağlanabilmesi için fan sürücülerinin otomatik ve uzaktan kumanda modunun bulunması gerekmektedir. Bir kullanıcı otomatik modu, el moduna alırsa sistemi uzaktan kontrol edemeyebilir. Bu nedenle fanların elektrik personeli dışında kurcalanması veya açıp/kapama işlemi yapılması yasaktır. Çünkü GateWay cihazlarına giden data hatların beklenmeyen bir durumda kopması veya zarar görmesi durumunda uzaktan kontrol işlevi kaybolabilir. Bu durumda fan eğer açık ise açık kalmaya, kapalı ise kapalı kalmaya devam eder. Fan sürücülerinin uzaktan kontrolünün sağlanabilmesi bazı parametre ayarlarının yapılması gerekir. Parametre ayarları ihtiyaç duyulmadıkça hiçbir şekilde değiştirilmemelidir. Start/stop/hata/reset/fan yönü ile dijital giriş ve çıkış parametreleri, haberleşme hızı

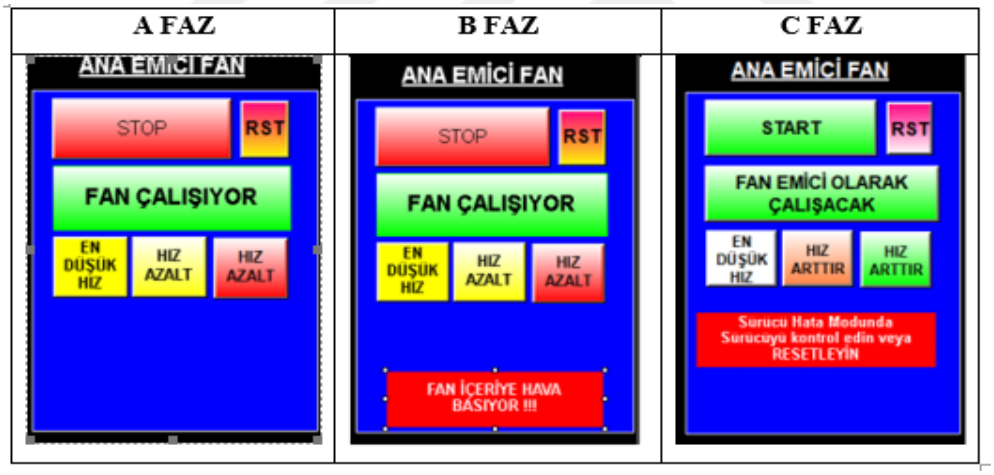
ve bağlantı noktasında bulunan ayarları, start ve stop rampası parametreleri, GateWay cihazı ile fan sürücüsü arasında iletişim sağlayan kablolarda yapılan değişiklik veya söküm işlemi gibi parametrelerin değişmesi fan kontrolünün kaybolmasına neden olmaktadır.

1	Yedek fan ve ana fan ismi değiştirilemez.
2	Fanı başlatır ve sonlandırır. Start butonuna basıldığında fan aktif hale gelir, buton kırmızı renkte iken pasif hale gelir.
3	Fan'da hata yaşanması durumunda resetlenir. Bu durumda fan 15-20'sn kadar çalışmaz. Butona basılı tutulduğu sürece sürücüye reset komutu gönderir bırakıldığı anda komutu keser. 2-3'sn den fazla basılmasına gerek yoktur.
4	Butona dokunulunca dönüş yolu basma yönüne ayarlanır buton rengi kırmızıya döner. Butondaki yazı "Fan Basıcı Yönünde Çalışacak" olarak değişir. Start konumu aktifken bu buton görünmez. Yönü değiştirmek istendiğinde fan durdurulur.
5	Fanın varsayılan hızı olup en düşük hızını ifade eder.
6	Fan hızı birinci kademede 1 seviye arttırılır ve azaltılır. Butona basıldığında Rengi Turuncuya döner ve Fan hızını %25 artırır.
7	Fan hızı ikinci kademede 1 seviye artırılır ve azaltılır. Butona basıldığında rengi kırmızıya döner. Fan hızını %50 artırır. 6 numaralı tuş turuncu, 7 numaralı tuş kırmızı iken fan %100 hızda çalışır.



Şekil 4.36. Ana Emici Fan Çalışma Ekran Görünümü

Fan kontrol ekranında bulunan “Ayar ve Bağlantı Durumu” kısmında bütün GateWay’ların sisteme bağlantısı görülebilir. Fanın o anda aktif olup olmadığı ve fanın çalışma frekansındaki değişiklikleri takip edilebilir. Sistemin takip edildiği ana kontrol bilgisayarından fanların çalıştırılması ve fanların durdurulması gibi parametrelerin kontrolü yapılabilir. Fan hata durumunda resetlenebilir. Fanların frekanslarının değiştirilebilir olması, yüksek frekansta çalışan fanın düşük frekansta çalıştırılmasına imkân sağlar. Fanların çalışma esnasında çektiği voltaj amper değeri (Pens Ampermetre:75 KW ortalama 120 Amper) ve çalışma frekansı görülebilir. Fanların aktif olarak çalışıp çalışmadığına dair bir de geri dönüş sinyali vardır. Ana emici fanın yönü değiştirebilir ve dört farklı kademede hızı ayarlanabilmektedir. Ana emici fanın dışındaki fanların hızı 10-50 Hz. aralığındadır. 10 Hz. en yavaş, 50 Hz. ise en hızlı çalışma değerindedir.



Şekil 4.37. Ana Fanının Çeşitli Modlarına ait Ekran Görünümü

Şekil 4.37’de ana fanın çeşitli fazlarda çalışma şekilleri görülmekte. A fazında fan ana emici olarak çalışmakta, B fazında fan içeriye hava basmakta, C fazında ise fan sürücüsü hata modunda olup çalışmadığı görülmektedir.

4.2.1.5. Sabit Gaz Ölçüm Sistemi

Yeraltı madencilik faaliyetlerinin yapıldığı üretim alanlarında genellikle zararlı gazlar ve gizli tehlikeler mevcuttur. Bu riskler, yerin derinliklerine inildikçe artmakta ve madencilik faaliyetlerini zorlaştırmaktadır. Yeraltında cevher veya kömür kazanımı sağlandıkça ocak havasında belirli oranda gaz salınımı olmaktadır. Özellikle kömür madenlerinde ortaya çıkan gazların konsantrasyonu, kömür madenlerinde yaşanan kazaların belirleyici faktörlerindendir (Mallı ve ark., 2014). Metal madenlerin kömür madenlerine nazaran gaz patlama oranı daha düşüktür. Ancak gerekli önlemler alınmadığı takdirde yanma ve patlama riski bulunabilmektedir. 2013 Tarihli ve 28770 sayılı Maden işyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği'ne göre; "ortam havasında sağlığa zararlı ve/veya patlayıcı madde bulunup bulunmadığının tespit edilmesi ve bu maddelerin konsantrasyonun tespit edilmesi amacıyla gerekli önlemler alınmalı. Sağlık ve güvenlik dokümanında gerekli görülmesi durumunda, içten yanmalı motor ve elektrik tesisatların gücünü otomatik olarak kesen ekipmanlar, daha önce tespit edilmiş lokasyonlarda gaz birikmelerini otomatik ve devamlı olarak ölçen ekipmanlar ve otomatik alarm sistemleriyle sağlanmalı. Merkezi takip sistemine bağlı olarak çalışan sensörler; hidrojen sülfürü, metanı, oksijeni, karbonmonoksiti, hava hızını ve sıcaklığını ölçmektedir. Sayıları ve lokasyonları sağlık ve güvenlik dokümanında belirtilerek yerleştirilir" şeklinde belirtilmiştir. Sensörler asgari olarak, üretim bölgelerinin her birinin temiz hava giriş ve dönüş yollarına, ocağın ana giriş yollarına, ocakta bulunan kirli havanın ocak dışına çıktığı nefesliklere yerleştirilir" ibaresi yer almaktadır. Gerçek zamanlı gaz izleme sistemi, kablosuz teknoloji kullanılarak yeraltı maden ocaklarındaki yanıcı ve patlayıcı gazların, çalışanlar ve ortam için herhangi bir risk içerip içermediği hususunda çalışma ortamının izlenmesine ve denetlemesine yardımcı olan bir sistemdir. İhtiyaç duyulmasında ise anlık gaz takibi de yapılabilmektedir.



Şekil 4.38. Sabit Gaz İzleme Sistemi

Bu noktada "anlık gaz tespiti" ve "gaz izleme" terimleri birbirlerini tamamlar nitelikte gözüksede; anlık gaz tespiti, taşınabilir ölçüm cihazlarıyla anlık gaz konsantrasyon ölçülmesidir. Gaz izleme sistemi ise, tehlikeli gaz yayılımlarının kesintisiz takip eden sistemlere denir (Aydın ve Barış, 2015). Çalışma kapsamında işletmenin yeraltı ocağında 8 adet fiber optik sabit gaz izleme sensörü bulunmaktadır. Fiber optik gaz sensörleri, küçük ve kompakt boyutlarda, hassasiyet, elektromanyetik faktörlere karşı dayanıklı, uzaktan algılama ve çeşitli yapılara entegre edilebilmesinden dolayı diğer sensörlere nazaran daha avantajlıdır (Barış ve Aydın, 2015). Sensörler ocak içinde daha önce belirlenmiş lokasyonlara yerleştirilerek ocak havasındaki metan konsantrasyonunu, hava akım hızını, nemini, hidrojen sülfür miktarını, oksijen miktarını ve karbonmonoksit oranlarını ölçmektedir. İnhedron yazılımı sistemi ile çalışan sistem, verileri anlık toplar ve sunucuya iletilir. Belirlenen birimlere ulaştığında yeraltı ocağında sesli, sistem odasında sesli, bilgisayar ekranında ise ekran görüntüsü çıkarak kullanıcıları uyarır. Sesli uyarı 90 dB olup kalibrasyon ve periyodik bakım süresi ise altı aydır.

Çizelge 4.13. Gaz İzleme Sensörlerinin Özellikleri (İnhedrom)

Sensör	Aralık Değerleri	TWA Değerleri (R.G.)
CH_4 Sensörü	Gaz Ölçüm aralığı hacimsel olarak en az %0-%5 arası	1000 ppm
O_2 Sensörü	Gaz Ölçüm aralığı hacimsel olarak en az %0-%25 arası	%19-21
CO_2 Sensörü	Gaz Ölçüm aralığı hacimsel olarak en az %0-%100 arası	5000 ppm
CO Sensörü	Lineer Ölçüm Aralığı 0-500 ppm	25 ppm
H_2S Sensörü	Ölçüm çözünürlüğü %5'e kadar en fazla 0,1'lik adımlarla	20 ppm
Hava Akım Hızı S.	0,5-1,2 m/s aralığında	0,5-8 m/sn

Gerçek zamanlı gaz takip sistemi, yeraltı ocağına yerleştirilmiş NetWork ağ ile takip edilmektedir. Sistemin ana elemanları, ocak içine yerleştirilmiş birden fazla Access Point, yüzey ile veri akışını sağlayan Cat-6 kabloları ve merkezi izleme istasyonunda bulunan bilgisayardan oluşturmaktadır. Ocağın yaklaşık 7 km'sine fiber hat kablolar çekilmiştir. Fiber hatlar, dayanaklı, verimi yüksek ve enerjiyi ışık hızı ile iletmektedir. Sistemin altyapısı kurulduktan sonra gaz izleme sistemi, oluşturulan ağ yapısı sayesinde sinyalleri Switchlere göndermektedir. Her cihaza ayrı IP tanımlanmıştır. İşletmede altı tanesi üst galeri, iki tanesi de alt galeride olmak üzere toplamda sekiz sabit gaz sensörü bulunmaktadır. Sensörler üretim faaliyetleri yapılan alanlara, kavşaklara ve ceplere yerleştirilmiştir. Yeraltı işletmesinin her 80-100 m arasına Access Point kurulumu sağlanmış olup bu noktalar NetWork ağ sayesinde, gerçek zamanlı olarak takip edilebilmektedir.

4.2.1.6. Otonom Teknolojisi ve Ekipman Takibi/Yönetimi

Tam otonom sürüş için ihtiyaç duyulan temel teknolojilerin büyük bir kısmı günümüzde geliştirilmiş ve bazıları piyasada bulunan araçlarda kullanılmaya başlanmıştır. Bu teknolojilerin yakın zamanda çok daha hızlı ilerlemesi beklenmektedir. Geliştirilmiş güvenlik şartları ve üretkenlik sayesinde işgücünün

çalışma stresinde ve araç trafiğinde azalma gibi faydalar sağlaması beklenmektedir (Nitz, 2014).

Robotik veya otonom sistem tasarımın temel prensibi algılama, planlama ve tepki verme üzerine kuruludur. Otonom araçlar bulundukları ortamı algılama ve bilgi toplama işlemini sensörler vasıtasıyla yapmaktadır. Elde edilen veriler toplanır ve işlenir. Bu işlem belirli bir süreç dahilinde gerçekleşmektedir (Brundrett, 2014). Bu süreci oluşturan başlıca ana unsurlar;

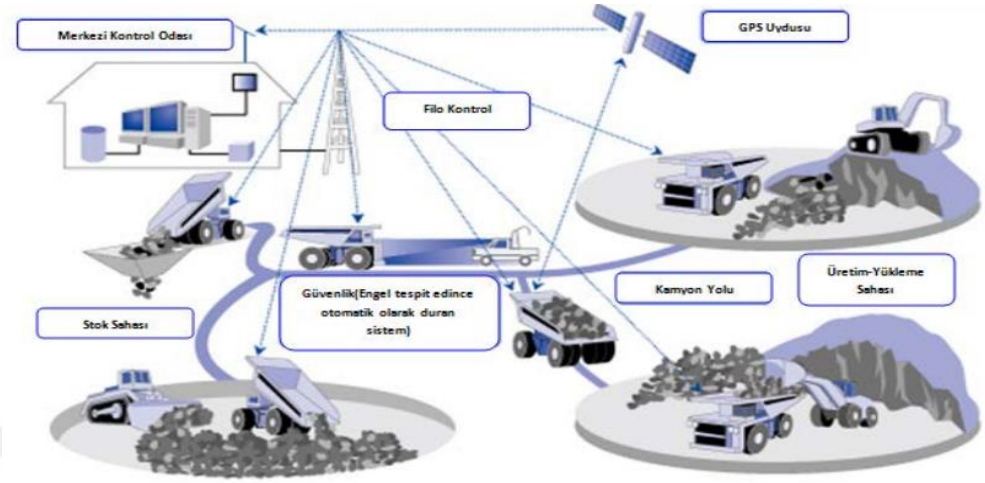
Bağlanabilirlik: Tam otonom araçlarda bağlantı hususu önemli bir ihtiyaç olup araçların birbirleri ile iletişim kurmaları bu sayede sağlanır.

Algılama: Otonom araçların, aktif oldukları alandaki cisimleri algılamaları otonom sürüş için önemlidir.

Dijital altyapı: Araçların birbirleri ile etkileşime girdiği fiziksel dünyanın dijital bir yorumudur.

Karar verme: Araçların karar verme süreçlerinde oluşturulan algoritmalar üst düzey bir altyapı ve işlem gücü gerektirir.

Sensörler: Otonom araçlara entegre edilen ana sensörler; lidar sistemler, ışık algılama, radar sistemler ve radyo algılama ve görsel kameralar gibi donanımlardan oluşmaktadır.



Şekil 4.39. Tam Otonom Bir Açık Ocak İşletmesinde Kullanılan Tasarım Parametreleri (Keskin, 2017).

Şekil 4.39'da tam otonom bir açık ocak işletmesi için gerekli olan parametreler görülmekte. Yakın bir gelecekte, bazı ülkelerde, birbirine entegre edilmiş ve aynı çalışma platformunda hareket eden, merkezi kontrol sistemlerinden takibi yapılan, kaza risklerinin ve insan hatalarının en aza indirildiği, maliyetlerin günümüze göre çok daha düşük olduğu, tam otonom ocak işletmeciliğine geçiş yapılması beklenmektedir (Keskin, 2017).

4.2.1.7. Pause

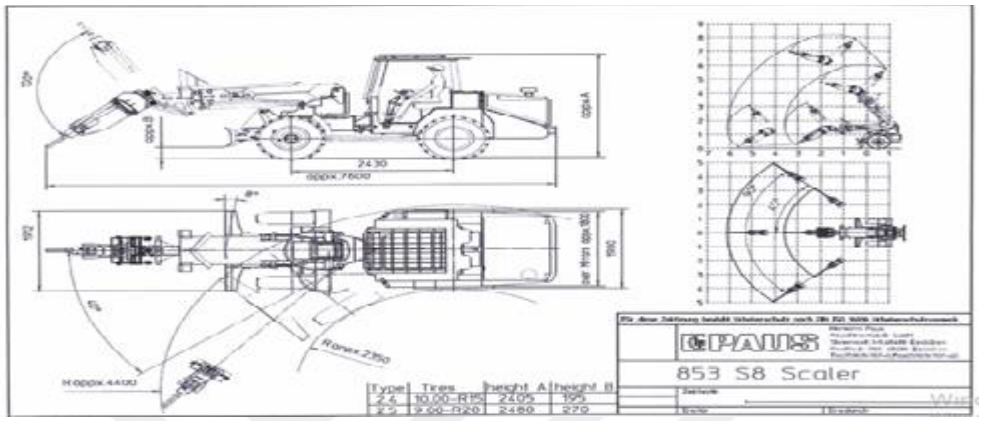
Yeraltı madencilik faaliyetlerinin yapıldığı yerlerde en çok rastlanan, ciddi yaralanmalara ve ölümlere neden olan kazaların başında kavlak ve taş düşmesi gelmektedir (Temel Madencilik Bilgileri, 2017). Kar, yağmur ve patlatma gibi olaylardan sonra yetkin kişilerce kademe yüzeylerinde çatlak sökümü yapılır (Koçali, 2017). Eğimi 5 m ve yüksekliği 30 dereceden fazla olan şevlerde çatlak sökümü, kontrolü vb. işler için çalışanların baret, emniyet ayakkabısı ve emniyet kemeri gibi kişisel koruyucu donanımlar temin edilir (Koçali, 2016). Kavlak ve taş düşme olayları her lokasyonda benzerlik göstermeyebilir. Bu nedenle madencilik

faaliyetleri öncesinde kazı ve tahkimat işlemlerinde kavlak ve taş düşme riski göz önünde bulundurularak düzenli olarak kontrol edilir. Gerekli koruyucu ve önleyici tedbirler alınmadığı taktirde ciddi yaralanmalara hatta ölümlere neden olabilir.

ABD'de 1997 yılında yeraltı kömür madenlerinden kavlak düşmesi sonucu 800'e yakın çalışan yaşamını yitirmiştir. Yine 1999 ve 2008 yılları arasında bu sebepten 75 kişi yaşamını yitirirken 5941 kişi de yaralanmıştır. Bu süre zarfında yeraltı madenlerinde meydana gelen ölümlerin %40'ını göçük, taş ve kavlak düşmesi sonucu meydana gelmiştir. 2000 ve 2013 yılları arasında Kanada'da taş, kavlak ve göçük sonucu 5 maden çalışanı yaşamını yitirirken 25 çalışan ise ağır yaralanmıştır. Türkiye'de ise 2000-2014 yılları arasında taş-kavlak düşmesi ve göçük olayları dikkate alındığında, Zonguldak taşkömürü havzasında bulunan beş taşkömürü işletmesinde 40472 iş kazası meydana gelmiştir. Bu kazaların 15813'ü yani yaklaşık %39'unun taş-kavlak ve göçük sonucu meydana geldiği görülmüştür. Bu gibi durumları önlemenin en önemli yolu tavan-zemin kontrol sistemlerinin oluşturulmasıdır. Yapılan bir analize göre taş ve kavlak düşmesi ve göçük olaylarına neden olan en önemli hususlar; iş sağlığı ve güvenliği eğitiminin yetersiz olması, pratik eğitimlerin yetersiz olması, yetkin olmayan çalışanların tehlikeli işlerde çalıştırılması ve işletmeye uygulanan risk analiz değerlendirmesinin yetersizliği olarak tespit edilmiştir (Direk, 2016). Bir maden işletmesinde faaliyet öncesi, cevherin jeolojisi, kayaç özellikleri, kontrol edilen yüzey alanı, diğer faaliyetler ve çevresel faktörler göz önünde bulundurulmalıdır (Arthur, 2006).

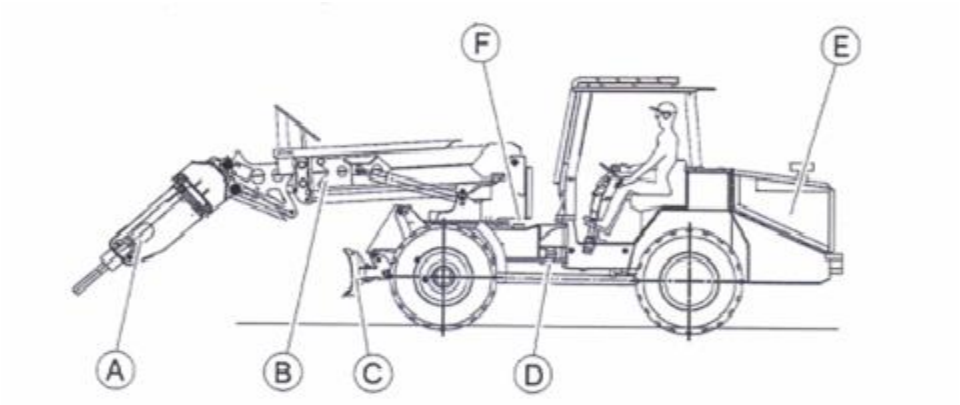
Taş ve kavlakların kontrol edilmesi ve düşürülmesinde sivriç veya Pause kulanılmaktadır. Sivriç, aynalar ve tavanda risk oluşturabilecek taş ve kavlakların kontrollü şekilde düşürülmesinde kullanılmaktadır. Ön kısmı bıçak gibi keskin olup tutma kısmı ise yassı şeklindedir. Uzunlukları madenin yapısına göre farklılık göstermekte olup uzunluğu yaklaşık 2-2,5 m civarındadır. Üretim süreçlerinde, atım sonrasında, vardiya değişikliklerinde, çevresel ve diğer faktörler göz önünde bulundurularak periyodik olarak tavan ve ayna kontrolü yapılır. Sivriç kullanımının

en büyük dezavantajı, düşürülmek istenen parçaya yakın (ayna ve tavan) alanda işlem yapılmasıdır.



Şekil 4.40. Pause

Kavlak tarama işlemi bir diğer yöntem ise Pause'dır. Şekil 4.40'ta kavlak taramasında kullanılan Pause'nin genel özellikleri görülmektedir. Aracın kule üzerine tespit edilmiş çift teleskop bomu bulunmakta olup ±45 derece aralığında çevrilebilir özelliğe sahiptir. Çalışma esnasında operatörün iyi bir görüş sağlayabilmesi için alçak bir kule üzerine monte edilmiştir. Makinenin bomu yaklaşık 9 m çalışma yüksekliğine kadar teleskopik olarak uzayabilmektedir.



Şekil 4.41. Pausun Genel Özellikleri

Şekil 4.41'de Paus'un genel özellikleri görülmektedir. Buna göre; A noktası makinenin kırıcı kısmını, B noktası makinenin bomunu, C kısmı makinenin greyder bıçağını (kazıyıcı), D kısmı makinenin belden kırma sistemini, E kısmı makinenin motor bölümünü F kısmı makinenin hidrolik kırıcı gres deposunu ifade etmektedir.

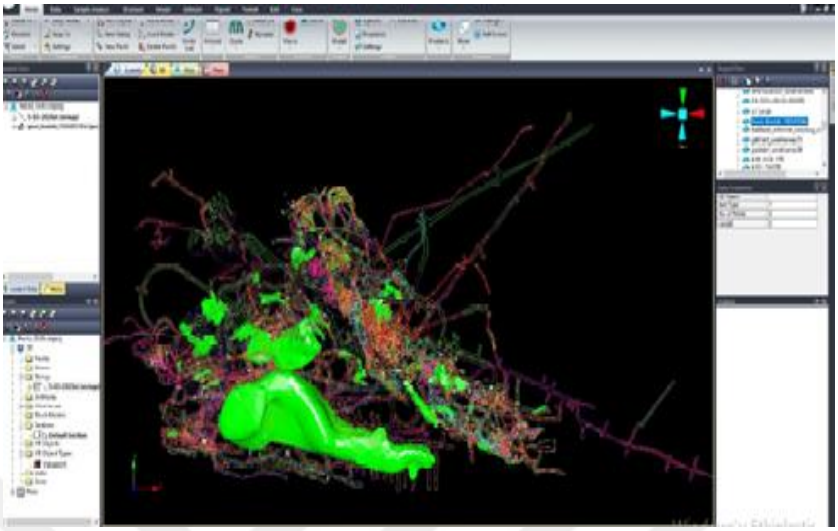
4.2.1.8. GeoSight CMS

GeoSight CMS, yeraltı madencilik faaliyetlerinde tehlikeli ve erişilemeyen boşlukları taramak amacıyla kullanılmaktadır. GeoSight CMS ile hızlı ve gerçek zamanlı veri elde edilerek operatörün yeraltında bulunma süresini kısaltmaktadır.



Şekil 4.42. GeoSight CMS

GeoSight ile yapılan ölçümlerden; alanın kullanılabilir ömrünü uzatma, seyreltmeyi azaltma, üretimi durdurma, dolgu hacmini hesaplama gibi veriler elde edilmektedir.



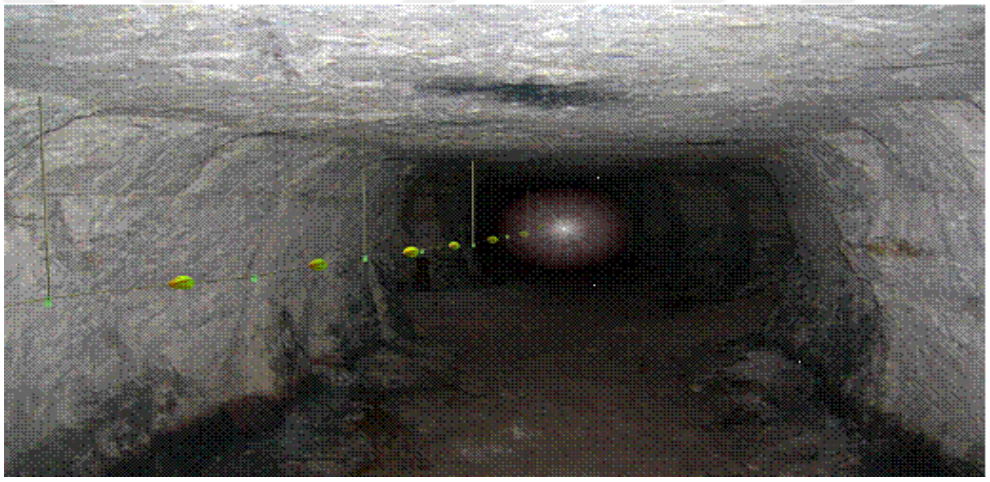
Şekil 4.43. GeoSight ile Galeri ve Tavan İmalatlar

Tarayıcının en çok tercih edilen uygulamaları; tripod tarama, boşluk tarama ve dikey taramadır. GeoSight CMS ile stoper uzlaşması maksimum cevher verimi sağlar ve sistemin kullanılabilir ömrünü uzatır, seyreltmenin / kaybın açıklanmasına yardımcı olur (BARKOM, 2019). Toza ve suya karşı dayanıklı olup -30 °C ile +60°C arasında çalışabilmektedir. Uygulama alanları; şaft izleme, cevher geçişi (orpas) izleme, boşluk ve kat arası izlemedir. Geosight ile 100 m altına inebilen ve 1000 m'ye kadar derinliğe ulaşabilmektedir (MTD, 2014).

4.2.1.9. Yeraltı Madenciliğinde Haritalama

Madencilikte haritalama, yeraltında yapılan planların ilerleyen galeriler ile uyumlu bir şekilde ilerleyip ilerlemediğini, katlar arasındaki topuk (paralel mesafe) uzunluklarını ve et kalınlığının (yükseklik farkı) kontrolünü sağlar. Cevher modellerine doğru ve kısa yoldan gidilerek verimliliğin artmasına, katlar arasında beklenmedik bir patlama ve sonrasında ortaya çıkabilecek kırılmalara karşı mühendisleri önceden tedbir alma konusunda uyarır. Can ve mal kaybını minimum seviyeye indirir, hacim hesaplanmasının doğru şekilde yapılmasına yardımcı olur.

Yeraltında bulunan otomatik kapı, revir, elektrik hatları, fanlar, telsiz noktaları, panolar, su hatları, sığınma istasyonları (yaşam odaları), patlayıcı depoları, havuzlar vb. yerlerin kesin koordinatlarını ve acil durumlarda en kısa yoldan nasıl ve hangi noktalardan güvenli alanlara ulaşılacağının bilgisini verir. 2015 tarihli ve 29291 sayılı Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik Kapsamında yeraltında çalışanların acil bir durumda, ocağı en kısa yoldan terk edebilmeleri için yer altı ocak yollarına, hayat hatları çekilmesi mecburiyeti getirilmiştir.



Şekil 4.44. Yaşam Hattı (RG)

4.2.1.10. Total Station

Total station, prizmatik bir reflektör vasıtasıyla işaretlenen seçilmiş noktaların, kartezyen koordinatlarının hesaplanmasında kullanılır (Schofield ve Breach, 2007). Ölçümde, reflektöre yönlendirilmiş kızılötesi bir (InfraRed-IR) ışın yayılır. Gönderilen ışın tekrar Total Station'a geri döner. Bu sürede yayılan ışının 'uçuş süresi' 'time-of-flight' olarak ölçülür. Böylelikle Total Station'ının reflektöre olan mesafesi hesaplanmış olur. Bunun dışında Total Sation noktasından seçilen ve herhangi bir noktaya olan yatay ve zenit doğrultu açıları da ölçülebilir. Böylelikle

sabit noktadan, gözlem ve ölçümü yapılan hedef noktasının kutupsal koordinatları referans alınan bir sisteme göre milimetre altı doğruluğuna kadar lokal kartezyen koordinatlara dönüştürülür (Pehlivan, 2019).



Şekil 4.45. Total Station

Total Station ölçümleri, basınç, bağıl nem ve sıcaklık gibi faktörlerden etkilenebilmektedir. Stres ve şok ölçümlerde sapmalar yaşanabilmektedir. Bu durum ölçümün doğruluğunu azaltabilir. Şiddetli ısı yansımaları, ışın kesintileri, nesnelerin hareket etmesi ölçüm esnasında sapmalara neden olabilmektedir (Pehlivan, 2019). Cihazların periyodik bakımlarının düzenli yapılması hem yapılan ölçüm sonuçlarını doğruluğunu hemde cihazın kullanım ömrünü uzatması açısından önemlidir. Total station, yeraltında ve yerüstünde haritalama ile galerilerin ilerlemesi, ölçülmesi, yönlendirilmesi ve haritalanması gibi işlemlerde de kullanılmaktadır. Bu işlem için gerekli kordinatlandırma işlemi yerüstünden taşınan koordinatlarla (koordinatla ölçüm yapılmasının en önemli nedeni ölçüm yapılan lokasyonun tespitinde kolaylık sağlaması) sağlanmaktadır. Tek kişilik kullanım imkânı sunması ve ulaşılması zor hedeflere lazerli ölçüm kolaylığı sağlaması cihazın önemini artırmaktadır.

4.2.1.11. Simba

Simba, yeraltı madencilik faaliyetlerinde orta ve büyük çaplı galerilerde kullanılan delici bir makinedir. Simba'nın manuel ve uzaktan kumandalı olmak üzere iki çeşit kullanımı mevcuttur. Makinenin uzaktan kontrol edilebilir olması olası kavlak düşmesi ihtimaline karşı, çalışanlar için daha güvenli bir ortam sağlar. Simbada belirli ihtiyaçlara uygun şekilde; çeşitli kaya deliciler, sondaj uçları ve kuyu dibi çekiçler bulunmaktadır. Simba, delme esnasında tij değişimini otomatik olarak kendisi yapmaktadır. Böylelikle delme esnasında deliklerde sapma olmayıp istenilen metrajda delik delinebilmekte ve delik çapları herhangi bir zorluk yaşanmadan büyütülebilmektedir.



Şekil 4.46. Jumbo ve Simba Deliciler

Örneğin Jumbo kullanılarak 10 m'lik ara kat göçertilerek iki galeri ve arası alınmak istendiğinde, delinen alanın bir üst katından çıkmadığı gibi açılan deliklerin delme açılarında sapmaya bağlı olarak planlanan alan dışında çatlakların oluşmasına neden olabilmektedir. Ancak Simba ile herhangi bir sapma olmadan sorunsuz bir şekilde bu işlemler gerçekleşmektedir.

4.2.1.12. Yeraltı Patlatma Sistemi

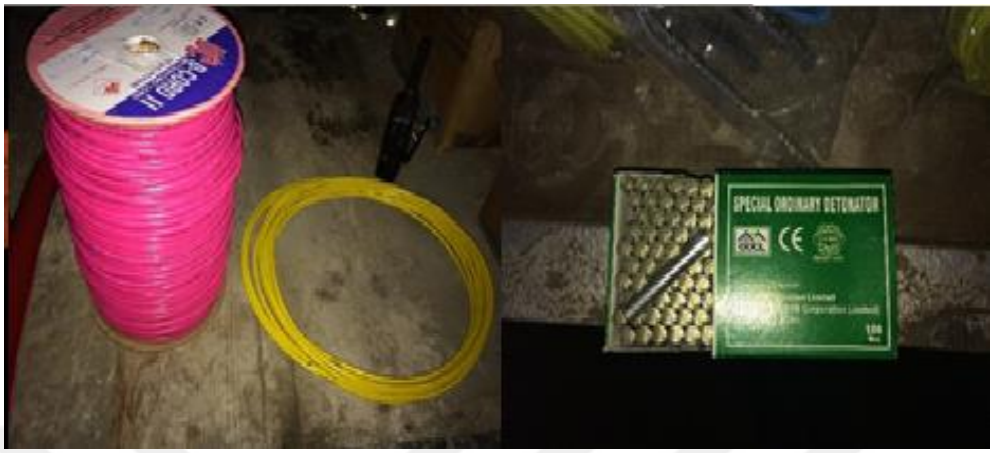
Patlayıcılar madencilik endüstrisinde, madencilik döngüsünün en önemli parçalarındandır. Kayaların kırılması veya parçalanması amacıyla standart olarak kullanılmaktadır (Eades ve Perry, 2019). Patlayıcı madde, içeriğinde ısı ve enerji veren, darbe ve sürtünme sonucu çevreden herhangi bir kimyasal katkı olmaksızın bir anda reaksiyona giren ve büyük oranda ısı ve gaz açığa çıkararak hızlı bir bozulmaya uğrayan bir bileşik ve kimyasal bileşiklerin karışımıdır. Patlama, kendi kendine yayılan, ısı açığa çıkaran kimyasal reaksiyonlardır (Dağlı, 2016).

Bir patlatmat işlemi öncesinde; ateşçilere statik elektrik oluşturmayacak şekilde kişisel koruyucu donanım (baret, anti statik iş ayakkabı, gözlük, iş elbisesi vb.) tedarik edilir. Kapsüller ile diğer patlayıcı maddelerin aynı kap içinde muhafaza edilmesine veya taşımasına izin verilmez (Koçali, 2017). Yapılan çalışma kapsamında işletmede patlatma prosedürleri incelenmiştir. Buna göre işletmede patlatma işlemi şu süreçlerden oluşmaktadır: Aynada simba ile ortalama (kesite göre değişebilmekte) 40 delik delinir. Delikler; göbek delikleri (4 tane çektirme veya çürütme delikleri patlayıcı madde doldurulmaz), taban delikleri, taban üstü delikleri, göbek destekleme delikleri, iç çember delikleri, dış çember delikleri açılır. Delme işlemleri gerçekleştikten sonra patlatma işleminin seçimine karar verilir.



Şekil 4.47. Emülite Tipi Dinamitler, Exel Kapsüller ve Anfo

Şekil 4.47'de görülen emülite tipi dinamitlere exel kapsüller takılıp tüm deliklerin dibine kadar sürülür. Bu işleme yemleme denir. Daha sonra tüm deliklerin 2/3'ü kadar anfo, anfo şarj makinesi ile patlayıcı doldurulur. Şekil 4.48'de pembe infilaklı fitil tüm aynayı dolaştırılıp exel kapsüllerin mandallarına takılır. Sarı olan adi fitil adi kapsülün içine sokulup pense ile sıkıştırılır. İnfilaklı fitilin iki ucu bir araya getirilip arasına adi kapsül ve adi fitil bağlanıp gözcü ve ateşçi tarafından ateşlenerek oradan uzaklaşılır. 1 m'lik adi fitil yaklaşık 115 (±15) saniye'de yanar, adi fitil yanarak adi kapsülü patlatır. Kapsüldeki gecikme numarasına göre exel kapsüller patlar ve ayna patlamış olur. Bu olay yaklaşık 1-2 saniye içinde gerçekleşir.

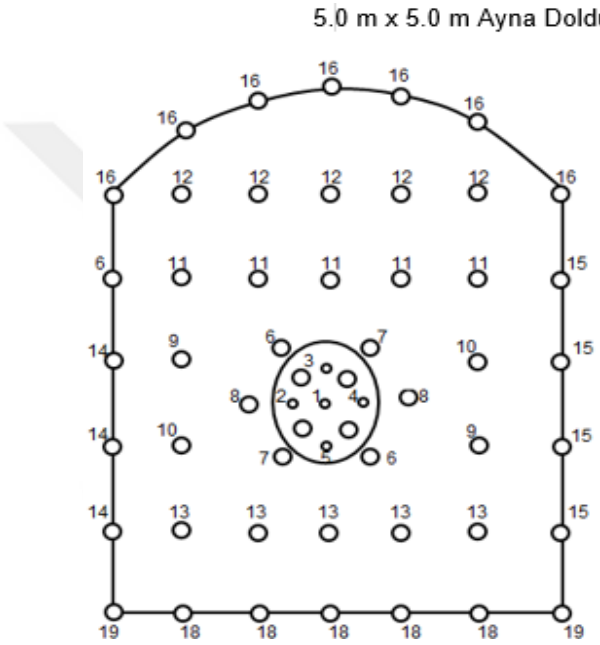


Şekil 4.48. İnfilaklı Fitil, Elektrikli Kapsül

Bu patlatma yöntemi işletmede 2019 yılına kadar uygulanmıştır. Belirtilen tarihten sonra işletmede yeni patlatma yöntemi uygulanmaya başlanmıştır. Yeni patlatma sisteminde son ateşleme olan adi fitil adi kapsül kısmına kadarki işlemler aynı olup (aynaya dinamit doldurulması/yemlemesi, anfo şarj edilmesi, infilaklı fitil bağlantılarına kadar) yeni sistemde adi fitil (emniyetli fitil), adi kapsül (8 nolu tahrip kapsülü) yerine elektronik kapsül, zil teli patlatma hattı (2x1,5 mm bakır kablo), logger, blaster ve ateşleme komutu veren dongle'dan oluşan elektronik ateşleme cihazları kullanılmaktadır. Elektronik ateşleme cihazları ile 3 farklı şekilde patlatma yapılabilmektedir.

İnternet Hattı Kullanılarak (Wi-Fi) Yapılan Patlatma*;* adi kapsül yerine, infilaklı fitite elektronik kapsül bağlanır. Bağlantının sağlanabilmesi için aynanın bulunduğu bölgede bir Wi-Fi hattı bulunmalıdır. Blaster ile Wi-Fi bağlantısı kurulacağı noktada blaster faal duruma getirilir. Patlatma dışarıdan yapılacağı için dışarıda da bir blaster bulunmalıdır. Yani iki blaster kutusu ile patlatma gerçekleştirilecektir. Yeraltındaki Wi-Fi ile bağlantısı sağlanan blasterin dışarıda bulunan blaster ile irtibat-bağlantısı gerçekleştirilir. İnfilaklı fitile bağlanan elektronik kapsül ile blaster arasına zil teli çekilir. Elektronik kapsüle bağlanan zil

teli loggera (kütükler) bağlanır. Logger cihazı, zil teli ve elektronik kapsül bağlantısında kaçak ölçümü, parazit gibi testleri yapar. Elektronik kapsüllerde herhangi bir gecikme olmaz. Logger cihazı ile elektronik kapsüle gecikme verilip aktif hale getirilir. Logger ile blasterın bağlantısı yapılır logger'daki bilgiler blastera aktarılarak sistem aktif hale getirilmiş olur.



Kapsül No	Adet
1	1
2	1
3	1
4	1
5	1
6	2
7	2
8	2
9	2
10	2
11	5
12	5
13	5
14	4
15	4
16	7
18	5
19	2

Şekil 4.49. Ayna Delik Tasarımı

Ocak tahliyesi yapıldıktan sonra patlatmanın yapılacağı alanda blaster ayarlarına geçilir. Sistemin ana elemanlarından olan loggerdaki veriler dışarıdaki blastera mavi dongle (flash bellek görünümünde) ile iletmektedir. Dışarıdaki blastera mavi dongle'de veriler aktarılıp yeraltındaki blasterla iletişimi test edilip bağlantı gerçekleştiği anda patlatma aşamasına geçilir. Ateşleme işleminin gerçekleşmesi için bir adet de kırmızı dongle kullanılmaktadır. Kırmızı dongle blastera takıldıktan sonra blaster ekranında ateşleme onayı ister. Onay tuşuna basıldığı andan itibaren patlatma olayı gerçekleşir.

İnternet (Kablolu) Hat Üzerinden Patlatma*;* ilk yapılan Wi-Fi'li bağlantı bu sistemde kablo üzerinden sağlanmaktadır. Kalan aşamalar diğerleri ile benzer şekildedir (ocak içindeki balstera bağlantı Wi-Fi ile değil internet kablosu ile yapılmaktadır).



Şekil 4.50. Elektronik Kapsül

İlk iki sistemin mantığına göre içeride ve dışarıda bulunan blasterın bağlantısı internet üzerinden sağlanmaktadır. Bu iletişim Wi-Fi veya internet bağlantısı ile sağlanmaktadır.

Ateşleme Hattı (Patlatma Kablosu) ile Patlatma; ocak içinde herhangi bir internet hattına ihtiyaç duyulmaz. Yerüstünden (ocak girişinden) ocak içindeki patlatma yapılacak bölgelere elektrik kablosu (patlatma kablosu) çekilir. Elektronik kapsül infilaklı fitile, zil teli de elektrik kablosuna (patlatma kablosuna) bağlanır.



Şekil 4.51. Zil Teli

Dışarıya gelen elektrik kablosunun (patlatma kablosu) ucuna zil teli yardımıyla logger bağlanır, logger da blastera bağlanır. Ekranda ateşleme onayı ister, onay tuşuna basıldığında patlatma gerçekleşir.



Şekil 4.52. Logger ve Blaster



Şekil 4.53. Yeraltı Patlayıcı Madde Depo Girişi

İşletmede 4 adet 2'şer tonluk gezici patlayıcı deposu mevcuttur. Deponun güvenliği her vardiyada 2 güvenlik görevlisi tarafından sağlanmaktadır. İhtiyaç duyulması halinde depolardan patlayıcı madde alımı güvenlik görevlileri nezaretinde ateşçiler tarafından alınmakta ve alınan her bir patlayıcının kayıdı tutulmaktadır.



Şekil 4.54. Patlayıcı Deposu

Deponun içi vantüplerle havalandırılmaktadır. Vantüpler exproof özelliktedir. Depo içinde "Yangın Pompaları", yangın söndürme tüplerinden çok daha hassas bir yapıya sahiptir. Bu nedenle ortam sıcaklığının 65°C'yi geçmesi durumunda otomatik olarak devreye girmektedir. Depo içine, duvar yan cidarlarından çekilen yaşam hattının montajı ve kat haritaları yerleştirilmiştir. Depo içinde kullanılan bütün malzemeler exproof özelliktedir.

4.2.1.13. Yaşam Odaları ve Acil Çıkış Noktalarının Mesafesi

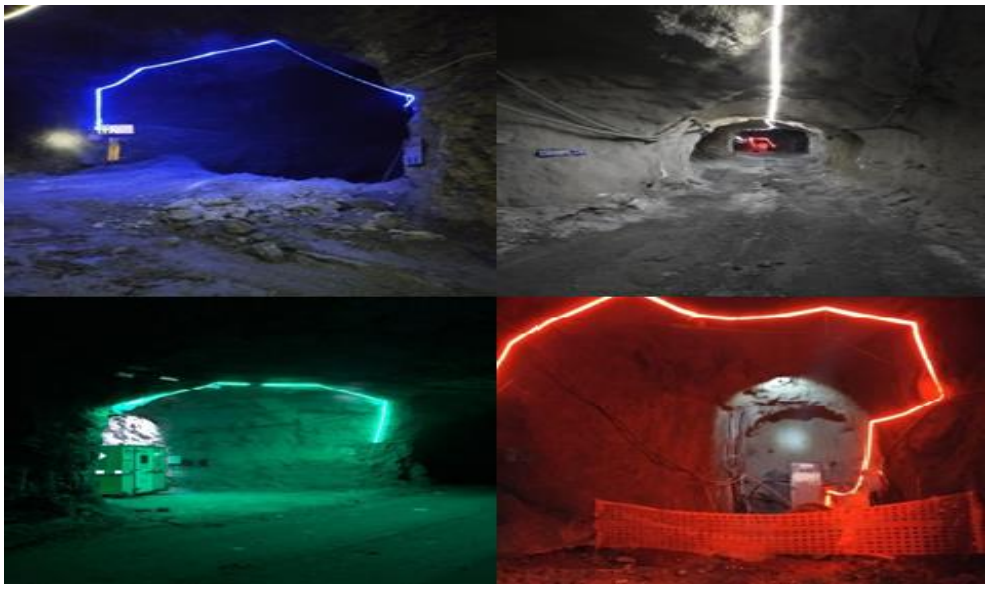
Yeraltı üretim faaliyetinde bulunan çalışanların, gaz, duman, göçük ve yangın gibi riskleri hissetmeleri veya bu risklere maruz kalmaları durumunda vakit kaybetmeden daha önce belirlenmiş acil çıkış noktalarını kullanarak yüzeyde

bulunan güvenli alanlara ulaşmaları sağlanır. Acil çıkış noktalarına ulaşamadıkları durumlarda ise yaşam odaları kullanılır.

Yeraltı sığınma sistemleri; üretim yapılan alanlarda hava kalitesinin tehlikeli hale gelmesi, göçük, yangın vb. durumlarda çalışanların acil durumlarda sığınabilecekleri ve temiz hava temininin sağlanması amacıyla tasarlanmış güvenlik sistemleridir. Kurtarma kapsülleri, taşınabilir sığınma odaları ve sığınma istasyonları, çalışanların riskli durum ortadan kalkıncaya kadar veya yardım gelene kadar beklemeleri için farklı lokasyonlara farklı ölçeklerde yerleştirilmektedir. Bir sığınma istasyonun tasarımı, planı, sığınma indeksleri, koruyucu donanımlar ve psikolojik unsurlar da göz önünde bulundurularak yapılmalıdır. Lokasyon seçiminde, jeolojik yapı, tehlike türleri, madenciler arası mesafe, çalışma yapılan alana olan mesafesi gibi hususlar iyi hesaplanmalıdır (Kılıç ve Aydın, 2019). Bu güvenlik sistemlerinin tasarımı yapılırken, zemin alanı, çalışan sayısı, yapılan işin niteliği, oda bölüm tasarımında ise patlama durumunda yaratabileceği basınç, servis ömrü, çevre kayaçların yapısı, destek odalar için tüneller ve yollar açmak gibi unsurlar dikkate alınmalıdır. Yeraltı sığınma sistemleri, patlama gibi beklenmedik durumlarda oluşabilecek basınç ve ani şoklara dirençli alanlara yerleştirilmelidir. Gerek cevherin yapısından gerekse üretim yönteminde kullanılan makine/ekipmandan kaynaklı zararlı gazların sığınma alanlarını etkilemesini önlemek amacıyla iç basınç ile dış basınç farkının oluşturulması ve hava perdelerinin olması gerekmektedir (Meng ve ark., 2011).

Ülkemizde meydana gelen iş kazaları göz önünde bulundurulduğunda madencilik sektörü en çok kazanın yaşandığı sektörlerden bir tanesidir. 18 Nisan 2014 tarih ve 28976 sayılı Resmî Gazete ’de yayımlanarak yürürlüğe giren İş Sağlığı ve Güvenliği’ ne İlişkin İşyeri Tehlike Sınıfı Tebliğine göre madencilik faaliyetleri çok tehlikeli sınıfta yer almaktadır (Gürleyen, 2016). Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği’nde 24 Mart 2016 tarihinde yapılan değişiklik ile hayat hatları ve sığınma odalarının kurulumunu zorunlu hale

getirilmiştir. Kömür ve türevleri hariç yeraltı maden işletmelerinde, acil ve beklenmedik durumlarda kullanılmak üzere sığınma odaları kurulmaktadır. Yaşam odaları, yeraltı maden işletmelerinde üretim aşamasına geçildikten sonra kurulur ve acil durum eylem planına uygun şekilde yerleştirilir (Topaloğlu, 2017).



Şekil 4.55. Ocak İçi Riskli ve Güvenli Alanlar

Şekil 4.55'te çalışmanın yapıldığı yeraltı işletmesinin riskli ve güvenli alanlar görülmektedir. Kırmızı renk; enerji alanlarını, (yüksek gerilim ve elektrik panolarını), mavi renk; tavan boşluklarını, ferenin (malzeme nakliyesi için kullanılan) olduğu alanı, beyaz renk; ocak içi genel aydınlatmayı, yeşil renk; sığınma istasyonları, revir, acil çıkış noktalarını ve güvenli alanları ifade etmektedir. Sığınma istasyonları her ne kadar riskli ve tehlikeli durumlarda çalışanların sığınması için tasarlanmış olsa da su basması, taş düşmesi, yangın, patlama, makine ve ekipman çarpması gibi durumlara karşı hassasiyeti unutulmamalıdır. Ayrıca düz, eşit ve suyu iyice giderilmiş bir zemine yerleştirilmelidir.

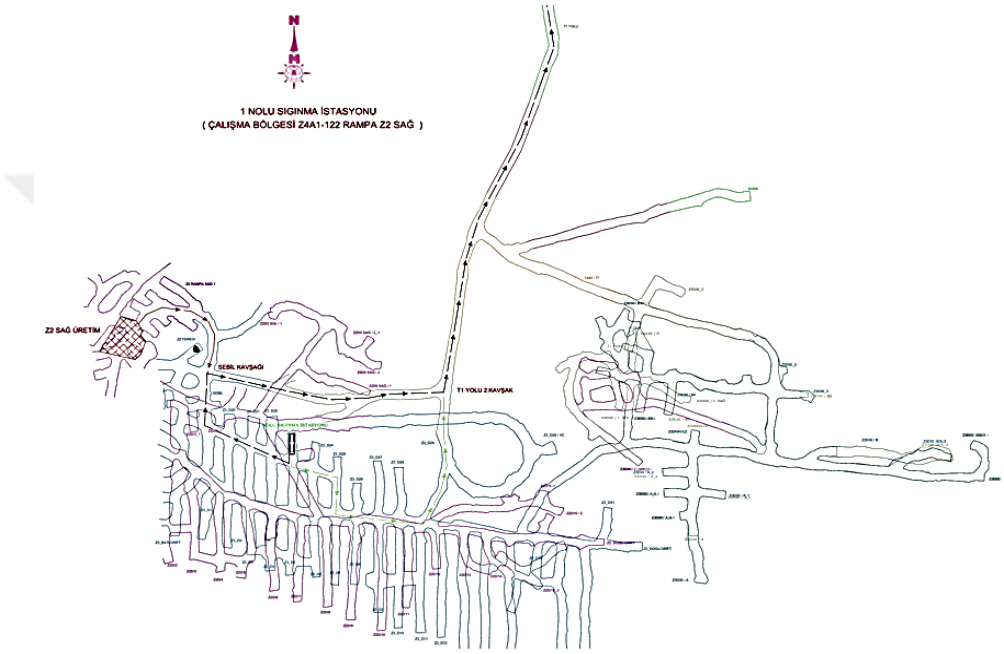


Şekil 4.56. Yaşam Odaları

Çalışmanın yapıldığı işletmede toplam üç adet yaşam odası (20 kişilik kapasite) bulunmaktadır. Periyodik bakımları 6 ayda bir yapılmaktadır. Yaşam odaları taşınabilir özelliğe sahip ve acil durumlarda çalışanların kolayca ulaşabilecekleri alanlara yerleştirilmiştir. Ocak içerisinde Z-3 bölgesinde 1427 Kotunda, T-3N bölgesinde 1462 kotunda ve 1320 kotunda 1 er adet olmak üzere 20 kişi kapasiteli 36 saat yaşam destek süreli 3 adet yaşam odası bulanmaktadır.

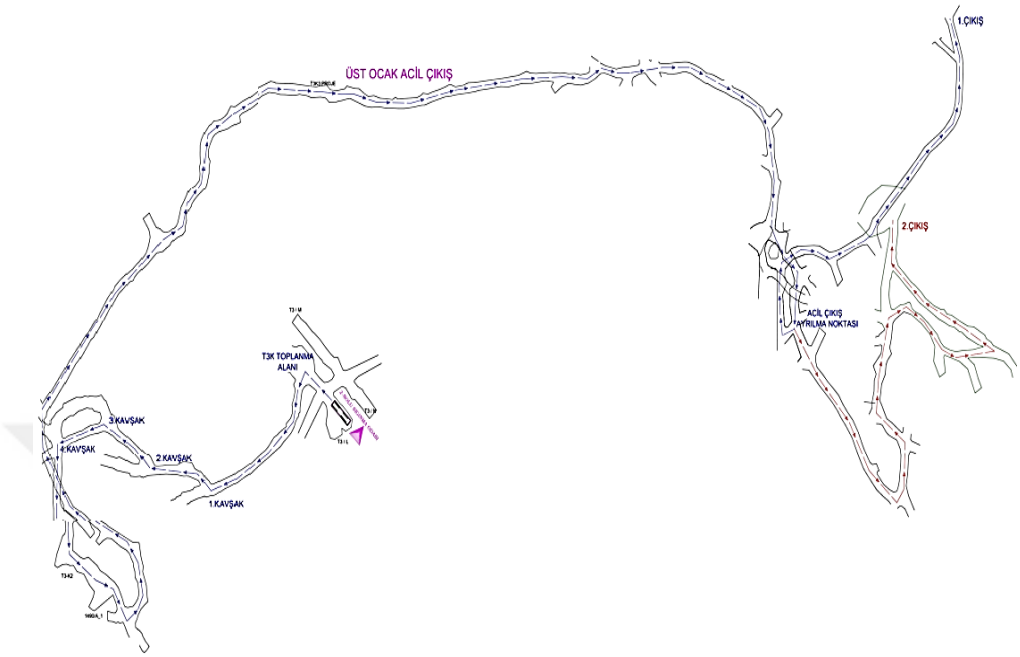
Z-3 bölgesinde 1427 kotunda 1 Nolu yaşam odası mevcuttur. 1 Nolu yaşam odası etrafında bulunan çalışma bölgesi olan Z-2 sağ tavan üretim bölgesinden sebil kavşağına mesafesi 78 m'dir. Sebil kavşağından 30 m düz ilerledikten sonra sola dönülüp 58 m gidildiğinde 1 Nolu yaşam odasına ulaşılmaktadır. Sebil kavşağından ana ocak çıkışına gitmek için ise sol güzergâhtan T-1 yolu ikinci kavşak mesafesi 135 m ilerleme yapılır. T-1 yolu ikinci kavşak noktasından T-1 kavşağına kadar mesafe 250 m'dir. T-1 kavşağından sağa dönülüp ana ocak çıkışına kadar 345 m ilerleme yapılarak ocaktan çıkış yapılır. Z-2 sağ tavan üretim bölgesinden sığınma istasyonuna toplamda 166 m mesafede olup acil durumda yürüme ulaşım süresi ortalama 3 dakikadır. Z-2 sağ tavan üretim bölgesinden ana ocak çıkışına toplamda 808 m mesafede olup yürüme ulaşım süresi ortalama 13

dakikadır. Yaşam odasından sebil bölgesi tarafından ocak ana çıkışına mesafe 818 m olup yürüme ulaşım süresi ortalama 11 dakika, yaşam odasından Z-3 bölgesi tarafından ana ocak çıkışına mesafe 780 m olup ortalama yürüme ulaşım süresi 13 dakikadır.



Şekil 4.57. 1 Nolu Yaşam Odası

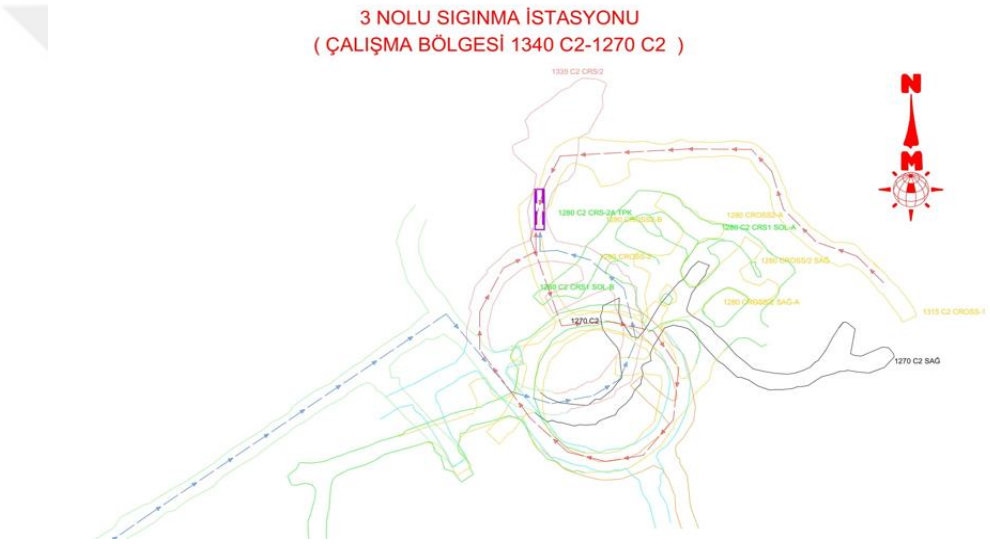
1365-C1 Sağ başlangıç noktasından Z-3 bölgesinde bulunan yaşam odasına 5 dk 20 s'de, en yakın acil çıkış noktasına ise 11 dk 20 sn de varılır. 1365 C1 Sağ başlangıç noktasından D-115 bölgesindeki yaşam odasına 10 dk 30 s'de varılır.



Şekil 4.58. 2 Nolu Yaşam Odası

2 Nolu yaşam odası T3-K bölgesinde bulunan T3-L cebindedir. 2 nolu yaşam odası etrafında T3-K2, D-115 ve D-237 alt işveren çalışma bölgeleri bulunmaktadır. T3-K2 üretim bölgesinden 37 m düz gidilip sağa dönülerek 164 m devam edilip T3-K alanına ulaşılır. T3-K alanından 23 m sağa gidilerek yaşam odasına ulaşılır. T3-K2 bölgesinden yaşam odasına toplamda mesafe 224 m olup yürüme ulaşım süresi ortalama 7 dakikadır. D-115 üretim bölgesinden 15 m ilerleme yapıldıktan sonra sağa dönülüp 82 m daha ilerleme yapılıp birinci kavşak noktasına gelinir. Kavşak noktasından sağa dönülüp 110 m ilerleme yapılıp yaşam odasına ulaşılır. D-115 bölgesinden yaşam odasına toplamda mesafe 207 m olup yürüme ulaşım süresi ortalama 4 dakikadır. D-237 üretim bölgesinden sağ güzergâh takip edilerek 292 m sonra trafo kavşağına ulaşılır. Trafo kavşağından sağa dönülüp 65 m sonra T3-K alanına ulaşılır. T3-K alanından 23 m ilerleme yapılarak yaşam odasına ulaşılır. D-237 bölgesinden yaşam odasına toplamda mesafe 380 m olup yürüme ulaşım süresi ortalama 7 dakikadır. 2 Nolu Yaşam

odasından ana ocak çıkışına mesafe 818 m olup yürüme süresi ortalama 13 dakikadır. 2 Nolu yaşam odasından T3-K toplanma alanına mesafe 23 m'dir. T3-K alanından üst ocak acil kaçış çıkışı kullanılarak acil çıkış ayrılma noktasına mesafe 935 m'dir. Acil çıkış ayrılma noktasından 1. çıkışa mesafe 200 m'dir. Acil çıkış ayrılma noktasından 2. çıkışa mesafe 329 m'dir. 2 Nolu yaşam odasından üst ocak acil 1. çıkışa yürüme mesafesi ortalama 22 dakika, yaşam odasından üst ocak acil 2. çıkışa yürüme süresi ortalama 26 dakikadır.



Şekil 4.59. 3 Nolu Yaşam Odası

3 Nolu yaşam odası 1320 kotunda 1320 c2 cross2 cebinde mevcuttur. 3 Nolu yaşam odası etrafında 1335 c2 cross1 galeri üretimi ve 1270-1280 galeri üretimleri bulunmaktadır. 1335 c2 cross1 üretim galerisinden ilk kavşağa mesafesi 136 m ilerleme yapılıp sağa dönülerek 123 m daha ilerlemeden sonra 3 Nolu yaşam odasına ulaşılır. Ocak dip alt kotu olan 1270 galerisinden 3 Nolu yaşam odasına mesafesi 605 m olup yürüme ulaşım süresi ortalama 7 dakikadır. 3 Nolu yaşam odasından SB3 çıkışına olan mesafe 995 m olup yürüme süresi ortalama 19 dakika,

yaşam odasından ana ocak çıkışına olan mesafe 1481 m olup, yürüme ulaşım süresi 24 dakikadır.

4.2.1.14. Acil Durum Planı

Madencilik sektörü Türkiye'de yaşanan iş kazası ve meslek hastalıklarının en çok görüldüğü alanlardan bir tanesidir. İş kazalarının önlenmesi ve daha sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamının oluşturulması iş sağlığı ve güvenliğine gereken önemin verilmesiyle sağlanabilir. Bu da muhtemel risklerin önceden tespit edilerek tehlikelerin ortadan kaldırılmasıyla yani kontrol listeleri, risk analizleri ve acil durum planları ile mümkündür (Kılıç ve ark., 2016). Yapılan çalışmalara rağmen öngörülemeyen durumlara karşı risk analizleri ve acil durum eylem planları güncellenir ve işyerindeki tüm çalışanlar konu ile ilgili bilgilendirilir. Çalışmanın yapıldığı işletmede 04.04.2020 tarihinde acil durum eylem planı koronavirüs (Covid-19) pandemisi nedeniyle güncellenmiştir. Koronavirüs tedbirleri kapsamında işletmede alınan önlemler aşağıda belirtilmiştir:

- Şüpheli vakalarda şüpheli personelin ateşinin ölçülmesi, maske ve tyvek giyindirilerek revirde izolasyona alınması ve 112 Acil ile iletişim kurularak en yakın sürede hastaneye naklinin sağlanması,
- Servis araçlarında koltuklara birer kişi oturacak şekilde araç personel sayısı azaltılarak araçların dezenfekte edilmesi,
- Çalışanların işe girişlerde temassız ateş ölçer ile kontrol edilerek kayıt altına alınması,
- Personel giriş ve çıkışlarında kullanılan parmak okutma iptal edilerek göz okutma ile giriş ve çıkışların sağlanması,
- Afiş, bilgilendirme levhaları, poster ve talimatlar işyerinin her yerine asılarak, Koronavirüs (Covid-19) ile ilgili el broşürleri hazırlanıp tüm personele dağıtılması,

- İşletme genelinde personellerin yoğun olarak bulunduğu alanlarda el dezenfektanları bulundurulması,
- Personel sayısını azaltmak amacıyla belirli sayıda çalışana yıllık izin kullandırılmasıdır.

İşletmede iş güvenliği kurul toplantıları her ayın sonunda yapılmaktadır. Her 15 günde bir ocak denetimleri yapılarak raporlanmaktadır. İşletmenin yeraltı işletme müdürlüğü İSG kurulu tarafından koronavirüs tedbirleri kapsamında pandemi sürecinde risk analizleri ve acil duru planları güncellenerek ve süreç düzenli olarak takip edilmektedir.



Şekil 4.60. Pandemi Kapsamında Alınan Tedbirler

Bulaşıcı ve Salgın Hastalıklar: Bulaşıcı hastalık, Bulaşıcı Hastalıklar Sürveyans ve Kontrol Esasları Yönetmeliğinin 4.md.'sinin c'bendine göre; enfekte olmuş bir kişi ile doğrudan temas yoluyla veya bir vektör, hayvan, ürün veya

çevreye maruz kalma gibi dolaylı yollardan veya bulaşıcı madde ile kirlenmiş olan sıvı alışverişi yoluyla insandan insana bulaşan, bir mikroorganizma veya onun toksik ürünlerine bağlı olarak ortaya çıkan hastalığa denir. Salgın ise aynı yönetmeliğin 4.md.'sinin ğ'bendine göre belirli bir alanda, belirli bir grup insan arasında belirli bir süre boyunca beklenenden daha fazla vaka görülmesi veya salgın potansiyeli olan ve epidemiyolojik olarak iki veya daha fazla vaka ya da yeni görülen/elimine edilmiş veya eradike edilmiş hastalığa ait tek bir vakanın görülmesine denir.

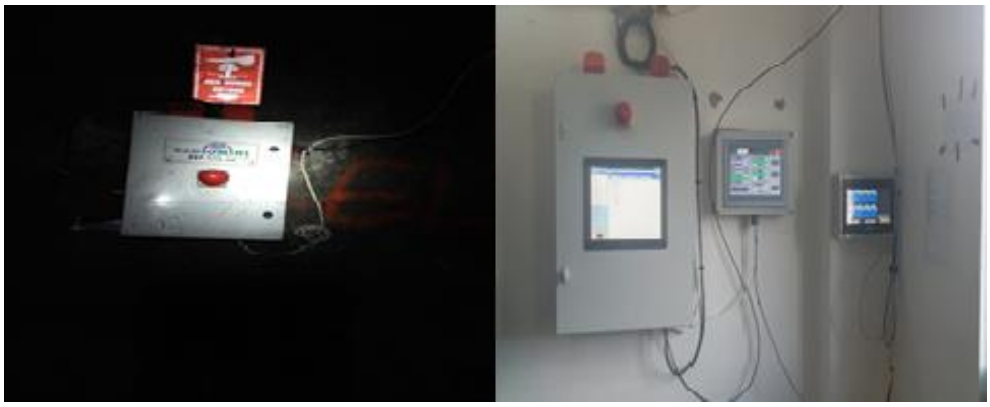
Yeryüzünde canlıların bulunduğu her ortamda biyolojik riskler söz konusudur. Biyolojik ajanlar bilinçli ve kontrollü bir şekilde kullanıldıklarında fayda sağlayabilirler. Çalışanlar işyerlerinde farkında olmadan birçok biyolojik ajanlara maruz kalmaktadır. İşyerinde bulunan enfeksiyonların farklı kaynakları olabilir (Coşar, 2012). Madencilik sektöründe bu açıdan en riskli iş kollarından biridir. Madencilik işkolunda, virüs, bakteri, mantar, parazitler, zehirlenmeler, şarbon, tinea pedis, alerjik astım, alerjik dermatit vb. sık görülmektedir. Yeraltında yapılan madencilik faaliyetleri kısıtlı alanlarda yapılması, vardiya sistemi, ortak dinlenme alanlarının bulunması çalışanları bulaşıcı hastalıklara yakalanmaları açısından sağlıklarını tehdit eden durumlardır. Bu hastalıklar, tetanoz, tüberküloz, legionelloz, leptospiroz gibi çalışma ortamından kaynaklı olabileceği gibi evlerinden uzakta, vardiyalı çalışanlar, haftalık veya aylık evlerine giden çalışanlarda viral hepatit gibi vücut sıvıları ile bulaşabilen hastalıkların görülme ihtimalleri de bulunmaktadır. Madencilik iş kolunda biyolojik risklere maruz kalan veya kalma ihtimali olan çalışanlara, tam kan sayımı, tarama testleri, tam idrar tetkiki ve tüm sistemlerin ayrıntılı olarak muayenesi yapılmalıdır (ÇSGB, 2018).

İşletmede Covid-19 ile mücadele kapsamında alınan tedbirlerden bazıları şu şekildedir. İşe giriş ve çıkışlarda parmak izi okutma kısmi olarak iptal edilmiş olup yerine göz tarama sistemine geçilmiştir. Personel tertip odasında hijyen ve koronavirüs ağırlıklı videolar ile sunum yapılmaktadır. Ayrıca afiş, poster,

bilgilendirme levhaları, talimatları işyerinin her yerine asılmıştır. İşletmede personellerin yoğun olarak bulanabileceği kısımlara el dezanfektanları yerleştirilmiştir. İşletme genelinde kapı kolları, lavabolar vb. kısımlar 2-3 saat ara ile seyreltilmiş çamaşır suyu ile ilaçlanmaktadır. İşletme geneli ise (binalar, iş makineleri ve servis araçları) 15 günde bir dezenfekte edilmektedir.

4.2.1.15. Diğer İş Güvenlik Uygulamaları

İşletmede 1 işyeri hekimi, 2 iş güvenliği uzmanı, 4 ATT sağlık memuru, 2 revir (1 tanesi yeraltında), 1 ambulans (15 ambulans şoförü) bulunmaktadır. İşyerinde istihdam edilen çalışanlar; işe giriş raporları, polikinlik muayeneleri, periyodik raporları, sağlık gözetimi (yılda iki defa akredite özel firma tarafından 6. ayda ve 12. ayda) yapılmaktadır. Kan tahlilleri (biyokimya, hemogram, ağır metal testi), akciğer grafisi, kulak odiyogramı (işitme testi), SFT, yapılarak raporlarlanmaktadır. Tarama sonucunda çalışanlarda herhangi bir meslek hastalığı şüphesi olması durumunda işyeri hekimi raporları inceler uygun görmesi durumunda ise meslek hastalıkları hastanesine sevk eder.



Şekil 4.61. Yeraltı Alarm Panosu ve Yürüstünde Bulunan Kumanda Odası

İşletmede yeraltı ocağında ve ocak dışında acil durumlarda kullanılmak üzere toplam 7 alarm panosu bulunmaktadır. Bu durum ocak içinde veya ocak dışında acil durum/durumlar söz konusu olduğunda kumanda odasında bulunan operatörlerce sinyalin geldiği panonun/kotun tespit edilmesine ve en hızlı şekilde olaya müdahale edilmesine imkân sağlar. Şekil 4.61'de ocak içinde bulunan alarm sistemi ve yüzeyde bulunan kumanda odası görülmektedir.

İşletmenin yeraltı ocağında üretimi tamamlanmış veya girilmesi yasak olan alanların giriş kısımlarına domuz damı örülerek üzeri hasırlanır. Daha sonra püskürtme beton atılarak kapatma işlemi gerçekleştirilir. Böylelikle kapatılan alana hem insan girişi hem de pis hava girişi engellenmektedir. Domuz damları, manuel kapılarda ve otonom kapılarda olduğu gibi havayı yönlendirerek ocak içindeki hava sirkülasyonun oluşmasına da katkı sağlar.



Şekil 4.62. Üretimi Biten Alanların Güvenli Hale Getirilmesi

İşletmede uygulanan bir diğer iş güvenliği uygulaması da kamyonlara takılan damper alarm sistemidir. Bu sistem araç malzeme yüklü iken ocak içine girmesi ve yükü boşaltmadan hareket etmesi durumunda aktif hale gelen bir sistemdir.



Şekil 4.63. Damper Korkuluğu

Bu uygulama geçmiş yıllarda yaşanan kazalar göz önünde bulundurularak uygulanmıştır. Bazı çalışanların damper kapanmadan aracı hareket ettirdikleri, damperdeki malzemeyi boşaltmadan hareket ettirmeleri ve araçlara monte edilmiş olan damper alarm sistemini devre dışı bıraktıkları iş güvenliği birimlerince tespit edilmiştir. Bu durumun önüne geçmek amacıyla ocak girişine eni 5,40 m boyu 4,40 m olacak şekilde damper korkuluğu kurulmuştur.

4.2.2. Analitik Hiyerarşi Proses Yöntemi

Yeraltı ve yerüstü kaynakları, işletme ve ülke ekonomisine olan etkisinden dolayı gelişen teknoloji ve artan dünya nüfusu ile endüstriyel sanayinin belirleyici unsurlarından biri haline gelmiştir. Madenler sağladıkları yüksek katma değer sayesinde birçok ülkenin ekonomik bağımsızlığını kazanmasında etkili bir rol almıştır. Madencilik endüstrisi ekonomik değeri olan cevherin keşfinden çıkarılmasına, cevherin işlenmesinden ihtiyaç duyulan endüstrilere iletimine kadar farklı süreçlerden oluşmaktadır (Mutlu ve Sarı, 2017). Ancak birçok sektörde

olduğu gibi madencilik sektöründe de süreci olumsuz yönde etkileyen durumlar ortaya çıkabilmektedir. Çok kriterli karar verme yöntemi (ÇKKVY), maden için en iyi yöntemin belirlenmesinde, tesisler için yer seçiminde ve en iyi makine ekipman seçimi gibi durumlara karar verilmesinde en çok tercih edilen yöntemlerden bir tanesidir. ÇKKY bir probleme veya belirli bir amaca yönelik karar verilme sürecinde alternatifler arasından en uygun olanı seçme işlemidir (Güner ve Yücel, 2007). Bu yöntemlerden Analitik Hiyerarşi Proses yöntemi (AHP), Myers ve Alpert tarafından ortaya atılmış, 1977 yılında Satty tarafından bir model olarak oluşturulmuş ve karar verme problemlerinin çözümünde kullanılmak amacıyla geliştirilmiş bir ÇKKY'dir (Mutlu ve Sarı, 2017).

Literatürde birçok araştırmacı AHP yöntemini kullanırken farklı paket programlar kullanmıştır. Bunların içinde en çok tercih edilenler "Expert Choice" ve "Super Decision" paket programlarıdır. Bu programlarda model oluşturabilmek için görsel araç ve menüler bulunmaktadır. Bu işlevin bir benzeri Ms. Excel'de de rahatlıkla modellenebilmekte ve çözüm sağlanabilmektedir. Ancak Ms. Excel'de gerekli hesaplamaların yapılabilmesi için matris ve ilişkili formüllerinin bilinmesi gerekmektedir (Önder ve Önder, 2018).

Çizelge 4.14. İkili Karşılaştırmalarda Kullanılan Göreli Önem Ölçeği (Saaty, 1980)

Satır-Sütun Sayısal Değer	**Sütun/Satır Sayısal Değer**	**Önem Derecesi**
1	1	Her iki faktör aynı derecede öneme sahip
3	1/3	Orta derecede daha önemli
5	1/5	Güçlü derecede önemli
7	1/7	Çok daha güçlü derecede önemli
9	1/9	Son derece önemli
2,4,6,8 Ara Değerleri Temsil Etmektedir.		İki faktör arasındaki tercihte yukarıdaki açıklamalarda bulunan derecelerin ara değerlidir.
Karşılıklı değerler i,j ile karşılaştırırken bir değer (x) atanmış ise; j,i ile karşılaştırırken atanacak değer (1/x) olacaktır.		

Çizelge 4.7'de AHP yönteminde karşılaştırma yapılırken kullanılan "Önem Dereceleri" verilmiştir (Özdemir ve Çelikbilek, 2020).

Çizelge 4.15. Kriterlerin İkili Karşılaştırması (Özbek, 2017)

İ Ölçütü	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	**J Ölçütü**
(K1)													X					(K2)
(K1)							X											(K3)
(K1)																		(K4)
(K1)																		(K5)
(K2)																		(K3)
(K2)																		(K4)
(K2)																		(K5)
(K3)																		(K4)
(K3)																		(K5)
(K4)																		(K5)

Çizelge 4.8'de ölçütlerin karşılaştırılmasında n(n-1)/2 adet karşılaştırma yapılmaktadır (Özbek, 2017). Kriterlerin ikili karşılaştırılması yapılırken; K1 ile K2 karşılaştırıldığında K2'nin "güçlü derecede önemli" olması nedeniyle sayısal değeri 1/x şeklinde hesaplamaya dahil edilir. K1'in K3 ile karşılaştırılmasında K1 "orta derecede önemli" olduğundan değer (x) olduğu gibi alınır.

İkili karşılaştırma matrisleri oluşturulurken: Ana ölçütlerin sonuca yönelik etkileri tespit edilirken hedefler göz önünde bulundurulur. Bu nedenle, kendi aralarında yapılan karşılaştırmalar, ana ölçütlerin altında bulunan alt ölçütlerin ana ölçütlere olan etkisini tespit etmek için (amaç göz önünde bulundurularak) yapılan karşılaştırmalar, karar seçeneklerinin alt ölçütlere göre önem sıralamasının tespit edilmesi için yapılan karşılaştırmalar dikkate alınır (Özbek, 2017).

Çizelge 4.16. Kriterler İçin İkili Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması (Ömürbek ve ark., 2015)

	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	Kriter 4	Kriter 5
Kriter 1	W1/W2	W1/W2	W1/W3	…….	…….
Kriter 2	W2/W1	W2/W2	W2/W3	…….	…….
Kriter 3	…….	……	W3/W3	……..	…….
…….	…….	……	…….	W4/W4	…….
…….	…….	……	……..	……..	W5/W5
Kriter n	WN/W1	WN/W2	…….	…….	Wn/Wn

Matematiksel ilişkisi ise: wi/wj: aij (i, j=1,2, 3…n)

Çizelge 4.9'da kriterler için ikili karşılaştırma matrisi görülmektedir. İkili karşılaştırma kavramı, iki kriterin birbirleriyle karşılaştırılması anlamına gelmekte olup karar vericinin öngörüsüne dayanmaktadır. Buna göre n kriter, i=1,2, 3…, n kadar ve j=1,2, 3,…,n kadar satır ve sütunlar sıralanır ve karşılaştırma matrisi oluşturulur. Matriste wi/wj kavramı, yapılan karşılaştırmada hedefe ulaşmada i. kriterinin j. kriterden ne kadar önemli olduğunu belirtmek için kullanılır (Ömürbek ve ark., 2015). Yapılan karşılaştırmada asal köşegenlerin üst kısmı katılımcılar tarafından doldurulurken alt kısımda kalan alanlar ise bu verilerin simetrisi alınarak elde edilir.

İkili karşılaştırma matrislerinin normalize edilmesi için izlenmesi gereken adımlar şu şekilde sıralanabilir; ikili matrisler oluşturulur, satır toplamları alınarak normalizasyon işlemi gerçekleştirilir daha sonra matristeki her eleman Eşitlik 4.7 kullanılarak kendi sütun toplamına bölünerek normalize edilir.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \quad (4.7)$$

Öncelik vektörünün hesaplanması şu aşamalardan oluşmaktadır: Normalize edilmiş matrisin her bir sütunun toplam değeri 1 olmalıdır. Normalize edilmiş matrislerin Eşitlik 4.8 dikkate alınarak her bir satır toplanır ve toplam kriter sayısına bölünerek ortalaması alınır. Böylelikle her bir kriter için önem ağırlıkları hesaplanmış olur (Özbek, 2017). Tüm öncelikler vektörünün hesaplanmasında ise her bir kriter ayrı ayrı kriter ağırlıkları ile çarpılır ve her bir satır toplamı alınır.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right)\sum_{j=1}^{n} a'_{ij}$$

i,j= 1,2,3,….n (4.8)

Öncelik vektörleri hesaplandıktan sonra, tutarlılık indeksinin hesaplanmasında ise, ölçütler arasında yapılan karşılaştırma ile elde edilen sonuçlar ile ikili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra yapılan karşılaştırma işleminin tutarlı olup olmadığı kontrol edilir (Satty, 2000; Özbek ve Eren, 2012). Tutarlılık Oranının (CR) hesaplanabilmesi için Uyum İndeksi (CI) ve λ_{max} (özdeğer) değerinin bilinmesi gerekmektedir. Özdeğerin hesaplanmasında Eşitlik 4.9 kullanılır.

$$\lambda_{\max} = \left(\frac{1}{n}\right)\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}.w_j}{w_i}\right) \quad (4.9)$$

Yapılan hesaplamada Uyum İndeksini (CI) elde etmek için Eşitlik 4.10 kullanılır.

$$CI = \frac{(\lambda_{max} - n)}{(n-1)} \tag{4.11}$$

Daha sonra uyum oranın hesaplanabilmesi için Rastgele Değer İndeks seçimi yapılmalıdır:

n: Karar Alternatif Sayısı,

RI: Rastgele Değer İndeksi,

Çizelge 4.17. Rastgele İndeks (Karagiannidis ve ark., 2010; Wang ve ark., 2010)

n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Yapılan çalışmada karar alternatiflerinin sayısı (n) dikkate alınarak Rastgele İndeks (RG) seçimi yapılır.

$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{4.12}$$

Tutarlılık Oranı (*CR*): Tutarlılık Göstergesi (*CI*) / Rastgele İndeksi (*RI*)' formülü kullanılarak elde edilmektedir. Tutarlılık oranı, kriterlere dayalı değerlendirme süreçlerinde kullanılabilmekte ve son kararın geçerliliği ve kalitesi açısından da önemlidir. AHP yöntemi, tutarlılığının test edilmesine imkân verdiğinden diğer ÇKKVY göre daha fazla güven vermektedir. Karar matrisinin tutarlı olarak kabul edilebilmesi için CR<0,1 olması gerekmektedir. Bu nedenle karar matrislerinin tutarlılık oranı ne kadar sıfıra yakın olursa karşılaştırma sonuçları da o yönde tutarlı olacaktır (Ömürbek ve ark., 2015).

4.2.3. Çalışanların Endüstri 4.0'a Yönelik Algı Seviyelerinin Ölçülmesi

Küreselleşme, demografik dinamikler, teknolojik ilerlemeler, kitlesel özelleştirme gibi megatrendler hem iş sektörü hem de toplum için bazı zorluklara neden olabilmektedir. Endüstri 4.0 ile günümüzde bu süreç çok daha karmaşık ve değişken hale gelmeye başlamıştır. İş ortamına bir tepki olarak, üstel teknolojik değişime ayak uydurmak ve sürdürülebilir kılmak için makro ve mikro boyuttaki birçok işletmenin bu süreci farklı stratejiler ile geliştirme gereksinimi ortaya çıkmıştır (Ramsauer, 2013). Bu nedenle sanayide yaşanan değişimin etkili ve başarılı şekilde hayata geçirilebilmesinin, değişimin bir bütün olarak ele alınması ve değerlendirilmesi ile mümkün olacağı düşünülmektedir.

Birinci sanayi devriminde buhar gücünün sanayide kullanılmasıyla el işçiliğinden makineli üretime geçiş yaşanmıştır. İkinci sanayi devriminde elektriğin sanayide kullanılmasıyla seri üretime geçilmiştir. Üçüncü sanayi devriminde ise elektrik ve elektroniğin sanayide kullanılmasıyla üretim dijital hale gelmiştir. Dördüncü sanayi devrimi ilk üç sanayi devriminin devamı niteliğini taşımaktadır. Yeni sanayi devrimi ile yapay zekâ, robotlar, otonom sistemler, 3D yazıcılar, nesnelerin interneti, büyük veri gibi sistemler üretimin bir parçası haline gelmeye başlamıştır.

Bilginin teknolojiye dönüşmesi ve sanayide kullanılmasıyla üretim yöntemlerinde de değişim yaşanmıştır. Bu değişim birçok alanda olduğu gibi madencilik alanında da etkisini göstermiş ve göstermeye de devam etmektedir. Örneğin, yeraltı madencilik faaliyetlerinin yapıldığı bazı işletmelerde işgücü yerine, robotlar, tam mekanize sistemler ve otonom araçlar kullanılmaya başlanmıştır. Bu durumun yüksek verim ve hızlı üretim, sağlıklı ve güvenli bir çalışma ortamı, enerji ve hammaddede israfın minimum seviyede olması gibi bazı olumlu yönleri vardır. Ancak diğer taraftan ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olması, ileri teknolojik ekipmanların çok karmaşık yapıda olması, yetkin personel azlığı, çalışanların geleneksel üretim yöntemlerini tercih etmek istemeleri, yeni ve

öngörülemeyen teknolojik riskler yeni dönemin getireceği belirsizlikler içerisinde yer almaktadır. Dolayısı ile Endüstri 4.0 teknolojileri, her ne kadar iş hayatına kolaylıklar sağlasa da birtakım zorlukları da beraberinde getirmektedir.

Bu kapsamda, araştırma bir yeraltı metal maden işletmesinde iş güvenliği açısından Endüstri 4.0 uygulamalarının çalışanlar açısından farkındalıklarını ölçmeye yönelik nicel bir araştırmadır. Anket soruları madencilik sektöründe uzman olan kişilerin görüşleri ve önerileri dikkate alınarak, Endüstri 4.0 kapsamında sanayide kullanılan uygulamaların işletmeye entegre süreci, çalışanların yetkinlikleri, çalışan sağlığı ve güvenliği ile ilgili hususları da içine alacak şekilde oluşturulmuştur. Çalışmada tarama modeliyle oluşturulan ve tanımlayıcı 29 sorunun yer aldığı anket formu kullanılmıştır. Gümüşhane'de faaliyet gösteren bir yeraltı metal maden işletmesinin çalışanları araştırma evreni olarak belirlenmiştir. Hazırlanan anket formu içerik ve anlam açısından kontrol edilmesi amacıyla 10 katılımcı üzerinde öntest olarak uygulanmıştır. Yapılan öntest sonucunda anketin tamamlanma süresi 5-7 dakika olarak belirlenmiş ve yapılan düzeltmelerle anket formuna son hali verilmiştir.

Nihai anket formu çalışma yapılan işletmenin yer altı kısmında çalışan 167 katılımcı üzerinde, 15.11.2020-07.12.2020 tarihleri aralığında yüz yüze görüşülerek uygulanmıştır. Araştırma soruları yaş, cinsiyet, medeni durum gibi demografik sorular, Endüstri 4.0, iş kazaları ve meslek hastalıkları gibi konular ile ilgili kapalı uçlu, çoktan seçmeli (5) ve açık uçlu (1) sorulardan oluşmaktadır.

Çalışmanın yapıldığı işletmede 185 çalışan yeraltında istihdam edilmektedir. Ancak 18 çalışanın Kırkıpavli sahasında görevlendirilmesinden dolayı, ana sahada faaliyet gösteren 167 çalışan ankete dahil edilmiştir. Araştırmaya katılan 167 çalışanın 7'si anketi eksik ve yanlış doldurduğundan bu anketler analizlerde dikkate alınmamıştır. Dolayısı ile araştırma kapsamında 160 çalışandan elde edilen veriler dikkate alınmıştır. Elde edilen veriler SPSS 21 programı kullanılarak frekans analizi yapılmış ve betimleyici istatistiklere

ulaşılmıştır. SPSS programı, Sağlık Bilimleri, Eğitim Bilimleri, Sosyal Bilimler vd., alanlarda kullanılabilen kurum, kuruluş ve araştırmacılar tarafından tercih edilen bir bilgisayar programıdır. Bu program ile mod, medyan, frekans dağılımı, standart sapma, faktör analizi, güvenilirlik analizi gibi birçok hesaplama yapılabilmektedir.

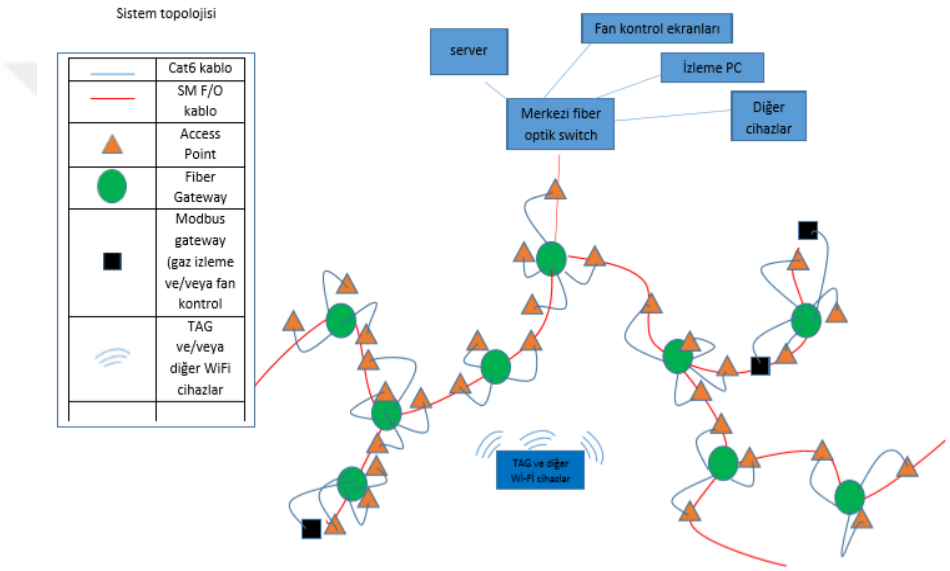
5. ARAŞTIRMA BULGULARI

Bu tez çalışmasında, iş güvenliği açısından Endüstri 4.0 uygulamaları araştırılmıştır. Çalışma alanı olarak çok tehlikeli iş kollarından ve madenciliğin alt dallarından olan bir yeraltı maden işletmesi seçilmiştir. Çalışma kapsamında, işletmede kullanılan makine, ekipman ve bağlantılı sistemlerin; çalışan sayısına, üretim miktarına ve iş güvenliğine etkileri incelenmiştir. Ayrıca, işletmede iş kazalarının ortaya çıkmasına neden olan hususların tespit edilmesi ve önceliklendirilmesine yönelik üçü üst düzey ikisi teknisyen olmak üzere toplam beş çalışana AHP yöntemi uygulanmıştır. AHP'nin çözümünde iki farklı yöntem (Super Decision Paket Programı ve Microsoft Excel) kullanılmış ve her iki yöntemde de sonuç tutarlı bulunmuş ve riskler önem düzeylerine göre sıralanmıştır. İşletmede 2010-2021 yılları arasında meydana gelen iş kazaları ile AHP yöntemi kullanılarak yapılan kriterler karşılaştırılmıştır. Analiz sonucunda kazaların ortaya çıkmasına neden olan hususlar (kriterler) ile işletmede meydana gelen kaza nedenlerinin büyük oranda örtüştüğü tespit edilmiştir. Son olarak işletmenin yeraltı çalışanlarına Endüstri 4.0 farkındalıklarını ölçmeye yönelik 29 sorudan oluşan çoktan seçmeli, açık ve kapalı uçlu soruların bulunduğu tarama modelli nicel bir anket çalışması yapılmıştır. Çalışma kapsamında ayrıca işletmenin risk değerlendirmesi, acil durum planı ve diğer iş güvenlik uygulamaları da incelenmiştir. Yapılan çalışmalar sonucunda genel değerlendirme yapılarak işletmenin verimli, güvenli ve sertleşen rekabet koşulları karşısında daha dinamik bir çalışma ortamı oluşturabilmesi için bazı öneriler sunulmuştur.

5.1. İşletmede Bağlantılı Cihazlar ve Sistemin Topolojisi

Gerçek Zamanlı Takip Sistemleri (RTLS), madenlerde meydana gelebilecek acil durumlarda ve ölümcül olabilecek kazalarda yer altında mahsur kalan çalışanların konum tespitinin kolayca yapılabileceği sistemlerdir. RTLS

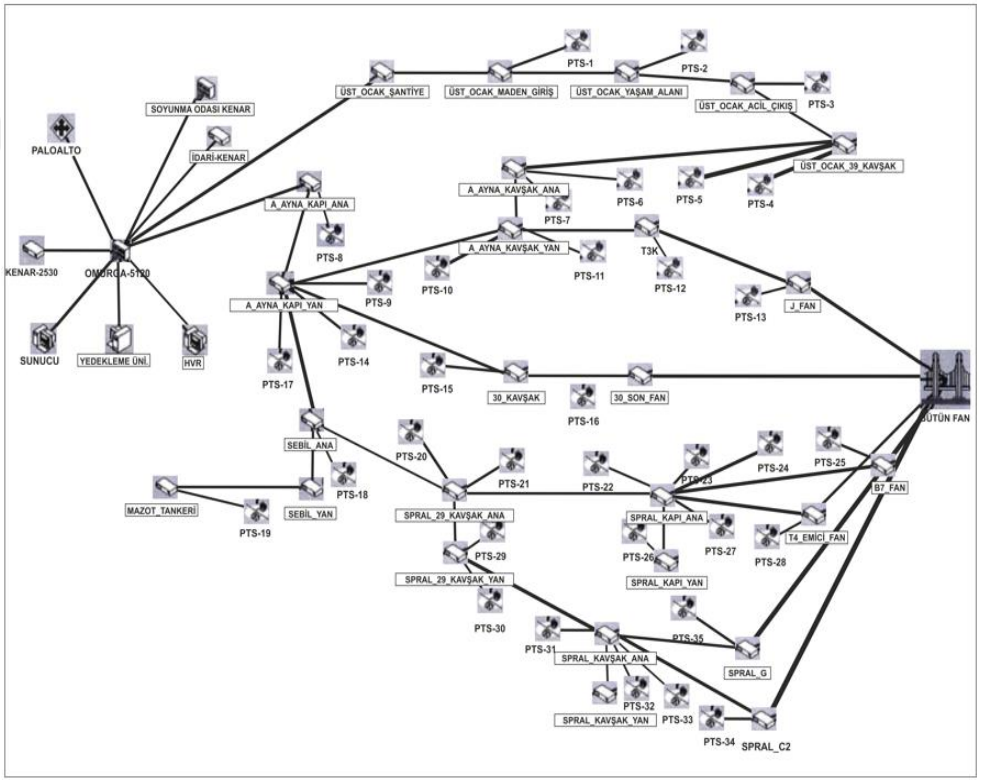
sistemi kazaların engellenmesini ve kaza sonrası kaza analizlerinin yapılarak karar vericilerin kazaların kök nedenlerini içeren önleyici tedbirleri geliştirmelerine imkân sağlamaktadır (Çavur, 2018). Okuyucu tabanlı bu sistemler çalışanların üzerine entegre edilebildiği gibi makine ve ekipmanlara da entegre edilmekte ve bu unsurların anlık takibi yapılabilmektedir (Minalliance-The Quebec Mining Industry's Association, 2012).



Şekil 5.1. Yeraltı Sistemleri Ağ Yapısı ve Teknik Özellikleri

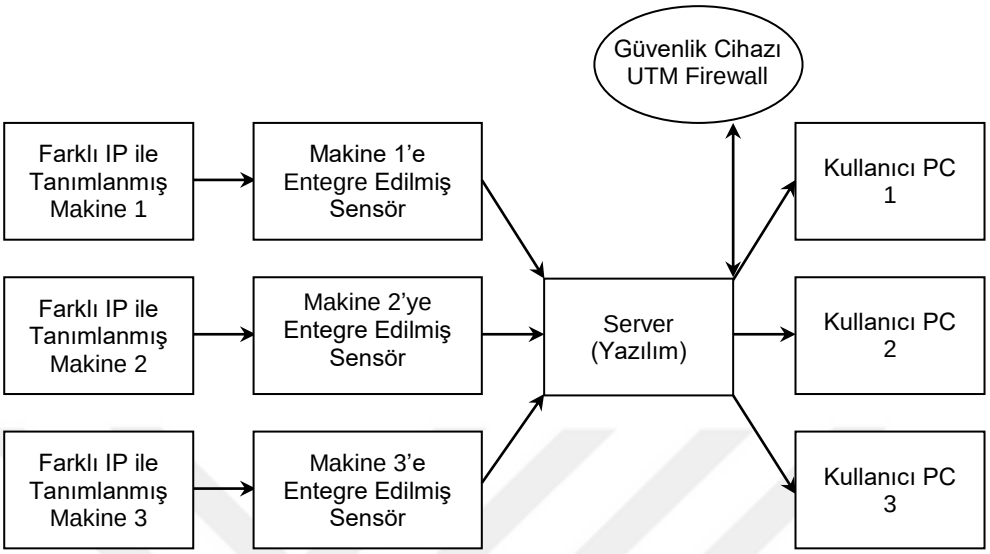
Bir işletmenin gerçek zamanlı takip sistemi, internet bağlantısı veya lokal tabanlı ağ yapısı kullanılarak sağlanabilmektedir. Çalışmanın yapıldığı işletmede lokal tabanlı ağ yapısı kullanılmaktadır. Şekil 5.1'de işletmede kullanılan sistemin topolojisi görülmektedir. Ağ tanımlanması ocak içine yerleştirilmiş merkezi fiber optik Switchler ve Cat 6 kablolar vasıtasıyla sağlanmaktadır. Oluşturulan ağ üzerinden hava kapıları hariç, fanlar, gaz takip sistemi, personel takip sistemi ve diğer ekipmanlar aynı yazılım (Inhedrom) ve ağ üzerinden sağlanmakta ve operatörlerce anlık takipleri yapılmaktadır. Nesnelerin ve çalışanların bu şekilde

birbirleri ile bağlantılı hale gelmesi gerekli enformasyonun daha hızlı şekilde toplanmasına imkân sağlamaktadır. Bu durum tehlikeli ve yüksek risk potansiyeline sahip lokasyonlarda çalışanların fiziksel olarak bulunmalarına gerek kalmadan anlık veri elde edilmesine ve beklenmedik olaylara erken müdahale fırsat sunmaktadır.



Şekil 5.2. İşletmenin Bağlantılı Olduğu Sistemler

Şekil 5.2'de işletmenin bağlantılı olduğu ağ sistemi görülmektedir. Şekil 5.3'te örnek bir işletmenin internet tabanlı ve lokal ağ tabanlı bağlantı sistemi görülmektedir.



Şekil 5.3. İnternet Tabanlı ve Lokal Tabanlı Ağ Yapısı

Lokal ağ ile yalnızca işletme içinde bulunan bağlantılı cihazların takibi yapılmaktadır. Makinelere tanımlanmış olan farklı IP'ler ve bağlantılı sensörler lokal ağ üzerinden verileri anlık olarak servere iletir. Server içinde gömülü olan yazılım, sisteme bağlı olan her makinenin IP'sini ayrı ayrı alarak aynı IP'ye tanımlı kullanıcı bilgisayarlarına iletir. İnternet bağlantısının çalışma prensibi de lokal ağ bağlantısı ile hemen hemen aynıdır. Ancak internet tabanlı kurulan ağ yapısı daha geniş tabanlı olup (internetin olduğu her noktada) takibi yapılmak istenen birçok alan için iletişim kurulabilmesine imkân sağlamaktadır. Bu teknolojiler birçok işletmede aktif olarak farklı (makine, ekipman, çalışan, lokasyon vb.) amaçlarla (anlık veri takibinin yapılması, anlık müdahale, riskli noktalar için erken önleyici tedbirlerin geliştirilmesi) kullanılabilmektedir. Lokal tabanlı ağ yapısının yalnızca bu ağ üzerinden kullanıcılara takip imkânı sunmaktadır. İnternet tabanlı ağ sisteminin ise siber saldırılara açık olması veri hırsızlığı gibi güvenlik açıklarının bulunması bu sistemin en büyük dezavantajıdır.

5.1.1. Otomasyon Sistemlerin İş Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi

Otomasyon sistemler, üretim hattında işgücüne gerek kalmaksızın çalışan karmaşık yapıdaki sistemlere denir. Bilişim, iletişim ve internet teknolojisinde yaşanan büyük gelişmeler, üretim bantlarında kullanılan makine ve ekipmanların bu teknolojiler sayesinde farklı roller üstlenmesine neden olmuştur. Gömülü ve akıllı yazılımlar, sensörler ve nesnelerin interneti gibi bileşenler sayesinde akıllı cihaz ve makinaların üretim hatlarında yerini alması bu sürecin destekleyici unsurlarından olmuştur. Endüstri 4.0 bileşenlerinden olan yatay ve dikey entegrasyon sayesinde bu dönüşüm süreci daha da ivmelenmiştir. Dijitalleşme ile cihazların birleşik çalışmaları ve haberleşmeleri sayesinde her türlü unsur gerçek zamanlı olarak takip edilebilir hale gelmeye başlamıştır. Örneğin Rio Tinto 2008 yılında otonom kamyon filosu kullanımına geçiş yaparak, üretim maliyetini düşürmüş ve ekipmanlarını daha verimli kullanmıştır. İşletme 100'e yakın insansız çalışan kamyon sayısını 150'ye çıkarmayı planlamaktadır (Rio Tinto, 2018). Çalışmanın yapıldığı işletmede hava kapıları hariç, pause, patlatma sistemi, simba, Jumbo, taglar, gaz sensörleri, fanlar otomasyon sistemler ile çalışmakta ve gerçek zamanlı takip edilmektedir. İhtiyaç duyulması durumunda, demirbaş-varlık kontrolü, arıza tespiti gibi uygulamalarda sisteme entegre edilebilmektedir. Bağlantılı çalışan otomasyon sistemlerin çok tehlikeli sektörlerde kullanılmasıyla, çalışan, çevre ve işletme güvenliği geçmişe nazaran daha kontrol edilebilir hale gelmiştir. Madencilik sektöründe otomasyon sistemlere RTLS'nin entegre edilmesiyle, sektöre sağladığı faydalar (www.orbcomm.com) şu şekilde sıralanabilir.

Yeraltı Maden Takibi ile Görünürlük ve Analiz**:** Endüstriyel RTLS, mobil cihazlar ve sensörler günümüzde madencilik işletmelerine gereğinden fazla bilgi sağlayarak işletmelerin daha iyi karar verme ve acil durumlara müdahale etme fırsatı sağlar.

Maden Çalışanlarının Takibinin ve Güvenliğinin Sağlanması: Elektronik olarak etiketlenmiş maden çalışanlarının giriş-çıkış ve tahliye durumları izlenebilir, elde edilen verilerin yorumlanmasıyla çalışanlar için daha güvenli bir çalışma ortamı sağlanır.

Madencilik Araçlarının İzlenmesi ve Performanslarının Optimize Edilmesi: Araçlar ve sensörler takip edilmeli, dolum ve boşaltım yerleri izlenmeli optimize edilmiş kullanım için güzergâh ve tur süreleri kaydedilmelidir. Böylelikle geliştirilmiş bir üretim için raporlar hazırlanabilir ve analizler oluşturulabilir.

Talep Üzerine Havalandırmanın Etkinleştirilmesi: İş sağlığı ve güvenliğinin geliştirilmesinde maliyet tasarruflarından faydalanılması önemlidir. Örneğin konum bilgisinin havalandırma sistemine entegre edilmesi ile enerji kullanımı optimize edilebilir.

Enerji ve Çevre Yönetimi: Enerjide gerekli verimliliğin arttırılabilmesi için sıcaklık, voltaj, gaz ve nem seviyeleri izlenebilir. Bunun için durum raporları hazırlanmalı ve daha önce tespit edilmiş seviye aralıklarının dışına çıkıldığında uyarı alınarak gerekli müdahale sağlanabilir (https://www.orbcomm.com).

Gerçek Zamanlı Takip Sistemi; sensörler, internet ağına bağlı bulunan nesnelerden veri toplamak amacıyla kullanılan cihazlardır. Sensörler ve nesneler iletişim kurmak için, NFC (Near Field Communication), Wi-Fi, Bluetooth, RFID (radyo firekans ile tanımlama), Zigbee (IEEE 802.15.4- kısa mesafe alan ağları) vb. yerel ağ bağlantılarından herhangi birini kullanırlar. Diğer taraftan sensörler ve nesneler geniş alan ağlarına (WAN) yönelik, GPRS (general packet radio servise), GMS (global system for mobile communations), LTE (long term evolution) ve 3G/4G gibi teknolojilerden faydalanır (Banger, 2018). Bu teknoloji özellikle kapalı ve kısıtlı alan çalışmalarında, çalışanların ve diğer varlıkların gerçek zamanlı konum takibinde kullanılır. Sistemin, gerçek zamanlı konumlandırma sistemi (RTLS), gerçek zamanlı takip sistemi (RFID), radyo frekans (RF) gibi farklı uygulama şekilleri bulunmaktadır. Dış ortamlarda GPS (global positioning system)

kullanılırken, yeraltı madenciliği gibi dar ve kısıtlı ortamlarda ise kablolu ve kablosuz (kızıl ötesi-LAN) şekilde kullanılmaktadır. İhtiyaç duyulması durumunda gerekli bileşenler dahil edilerek (sensör, nesnelerin interneti vb.) bağlantılı hale getirilebilir. Örneğin, iş makinesinin dijital ekranına, mekanik kısmına ve çalışma saatine entegre edilebilir. Bu bakımdan arızanın hızlı tespit edilmesi, konum takibinin yapılabilmesi, bakım süresinin kontrol edilebilmesi açısından avantaj sağlamaktadır. Aynı zamanda yatay entegrasyon sayesinde bağlantılı cihazda yaşanabilecek yazılımsal veya donanımsal gibi uzmanlık gerektiren durumlarda internet tabanlı ağ erişimi kullanarak tedarikçi firma kişilerinin arızaya müdahale etme süresini kısaltılabilir. Ancak, patlama/patlatma, yangın, iş makinelerinin çarpması, kavlak düşmesi ve tespit edilemeyen durumlarda sisteme güç sağlayan enerji hatlarında yaşanabilecek kesinti, sistemin işlevsiz hale gelmesine neden olabilir. Bu tür durumlarda, zarar gören lokasyon ve sonrasındaki alanlarla iletişim kaybı yaşanabilmektedir. Aynı zamanda yeraltı faaliyetlerinin yapıldığı alanların nemli ve dar olması da kablosuz iletişimi (Wi-Fi) işlevsiz hale getirebilmektedir. Bu gibi durumlarda çalışanlar ile sistem odasındaki iletişim, telsizler ve araç telsizleri ile sağlanmaktadır.

Bu sistemin, yeraltı kömür ve metalik madenlerinde uygulamaları incelendiğinde; kömür madenlerinde, galeri kesitlerinin dar ve düzensiz olması kablosuz altyapı sistemlerinin aktif bir şekilde kullanımını güçleştirmektedir. Sistemin sorunsuz çalışabilmesi için çok sayıda altyapı elemanına ihtiyaç duyulabilmektedir. Bunun yanı sıra kablosuz sistemlerin kablolu sistemlere kıyasla daha fazla güç gereksinimine ihtiyaç duyulması da işletme maliyetini artırmaktadır. Bu nedenle pek tercih edilmemektedir. Metalik madenlerde ise, galeri kesitlerinin kömür madenlerine kıyasla daha büyük olması altyapı sistemlerinin daha verimli şekilde kullanılabilmesine imkân sağlamaktadır. Ayrıca kesitlerin geniş olmasından dolayı ihtiyaç duyulan ekipman sayısı kömür madenlerine göre daha azdır. Bu durum aynı zamanda maliyeti de önemli derecede düşürmektedir (Sökmen, 2016).

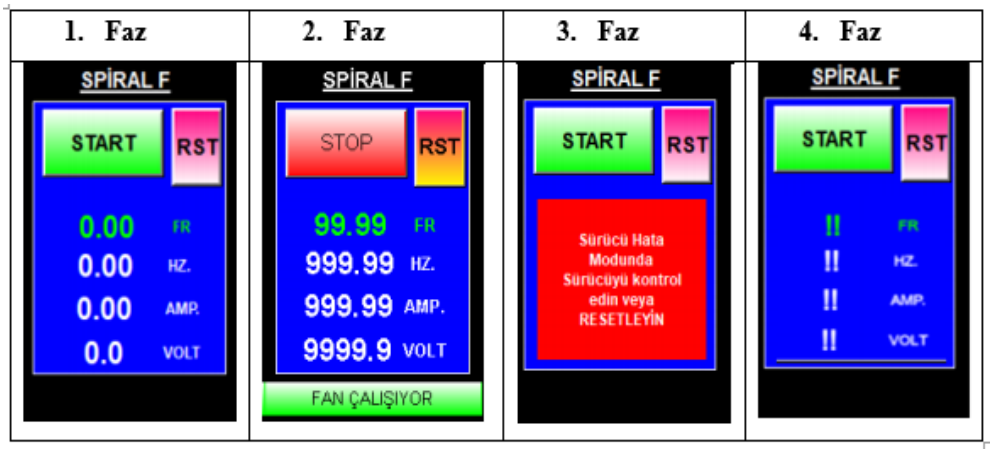
Hava Kapıları: Hava kapıları, basınçlı hava ve elektrik kullanılarak otomatik olarak çalışabilmektedir. Çalışmanın yapıldığı işletmede hava kapıları elektrik ile çalışmaktadır. Yeraltı hava kapıları ocak içinde bulunan havanın yönlendirilmesi amacıyla kurulmuştur. Kapıların beklenmedik durumlara karşı (enerji hatların zarar görmesi) jeneratörlerin aktif olarak sisteme enerji beslemesi için gerekli olan süre 60 s'dir. Kapıların pasif durumdan aktif duruma geçmesi için merkezi kontrol noktasında bulunan operatörlerin sistemi resetlemesi gerekmektedir. Kapılarda bulunan sensörler işletmede bulunan tüm araçlara tanımlanmıştır. Ancak sisteme tanımlı iki farklı aracın aynı anda kapının giriş ve çıkışında durması sistemi aktif durumdan pasif duruma getirmektedir. Bu durumda araçlardan bir tanesi sensörün algılama seviyesinden uzaklaşması veya aynı anda iki aracın okuyucu alanının dışına çıkması gerekmektedir. Ayrıca bazı çalışanlar kapıların otomatik olarak açılmasını beklemek yerine panelleri kullanarak manuel açmaları, sistemin aktif durumdan pasif duruma geçmesine neden olmaktadır. Açık kalan kapının merkezi sistem odasında bulunan operatörlerce resetlenerek tekrar aktif hale getirmesi gerekmektedir. Bu durum ocak havasının kalitesinin düşmesine ve temiz hava kaçaklarına neden olmaktadır.



Şekil 5.4. İşletme Hava Kapısı ve Sensörler

Sistemde yaşanan bir diğer sorun ise, hava kapılarından bir tanesinin açık kalması veya manuel olarak açılması durumunda sistemin resetlenmeden araç geçişine izin vermesidir. Sensör tarafından algılanmayan araç diğer hava kapısının sensörüne yaklaştığında sistem aktif durumdan pasif duruma geçmektedir. Bu gibi durumlarda aracın turu tamamlaması (kapalı olan kapının manuel açılması sağlanarak) veyahut açık olan hava kapısının giriş kısmına geri dönerek sensörlerin aktif hale gelmesini veya operatörlerce sistemin resetlenmesini beklemesi gerekmektedir. Sistemin çalışmasında en çok karşılaşılan sorunlardan bir diğeri ise iş makinelerinin hava kapılarına çarpması sonucu hidrolik sistemde yağ kaçaklarına neden olmasıdır. Bu gibi durum kapılar aktif durumdan pasif duruma gelmektedir.

Ocak Fan Takip Sistemi: Fanlar, basınç farkı yaratarak yeraltında hava akışını sağlayan sistemlerdir. Çalışmanın yapıldığı işletmede toplam 13 fan bulunmaktadır. Üretimde sürekliliğin sağlanabilmesi için gerekli olan hava miktarı ise 150 m^3/sn'dir. Fanlardan dört tanesi emici fan (sabit), dokuz tanesi de üfleyici fan'dır.



Şekil 5.5. Yeraltında Çalışan Diğer Fanların Ekran Görünümü

Fanların tamamı otomasyon sistem ile çalışmakta olup 3 boyutlu Ventsim Visual programı kullanılmaktadır. Ventsim programı bir havalandırma tasarım programıdır. Gelecekte yapılması planlanan panoların hava dağılımlarını analiz etmek için kullanılmaktadır. Yeraltı maden işletmelerinde havalandırma tasarım programı ile ocağa giren hava miktarı, ocak toplam direnci, kollardaki hava dağılımları, şebeke gücü ve vantilatör gücü kolaylıkla tespit edilebilmektedir (Önder ve ark., 2019). Şekil 5.5'te yeraltındaki fanların çeşitli faz durumları görülmektedir. 1 numaralı fazda fan çalışmıyor, 2 nolu fazda fan çalışıyor, 3 nolu fazda fan sürücüsü hata modunda olup pasif durumdadır. Sistemi aktif hale getirmek için sürücünün kontrol edilmesi veya sistemin resetlenmesi gerekmektedir. 4 nolu fazda ise GateWay (ağ geçidi) cihazının bağlantısı kopmuş olup fanın merkezi izleme sisteminden kontrol edilmesi gerektiğini belirtmektedir.

Sabit Gaz Ölçüm ve İzleme Sistemi: Yeraltı üretim faaliyetleri esnasında gerek cevherin yapısından gerekse makine-ekipman kaynaklı ocak içine belirli miktarlarda gaz salınımı olmaktadır. Ocak içi temiz hava oranın alt ve üst limit değerlerde tutulabilmesi etkili bir havalandırma sistemi ile sağlanabilir. Ancak hava akımının sağlanamadığı noktalarda zararlı gaz birikimi görülebilmektedir. Bu yerlerde gaz konsantrasyonlarının tespiti ve takibi gaz sensörleri ile sağlanmaktadır. Çalışmanın yapıldığı işletmede sekiz adet sabit gaz izleme sensörü bulunmaktadır. Gaz izleme sistemi ile hidrojen sülfür miktarı, oksijen miktarı, havanın hızı, havanın nemi, hava akım hızı, metan gibi gazların takibi yapılmaktadır. Gaz ölçümleri hem sabit hem de taşınabilir cihazlar ile yapılabilmektedir. Gaz sensörleri, çalışma bölgesinin yoğun olduğu bölgelere, hava akımının az olduğu bölgelere ve kirli havanın geçtiği noktalara yerleştirilmiştir. Gaz takip sensörleri, ocak içinde 24 saat ölçüm yapmaktadır. Ölçüm yapılan noktalarda değerlerin hatalı olduğunun tespit edilmesi durumunda cihazların kalibrasyonları kontrol edilir. Sistemden elde edilen verilerin doğruluğunun tespiti için daha önce belirlenmesi alanlarda manuel ölçümler de yapılmakta ve sistemden

elde edilen veriler karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırma, sensörlerden elde edilen verilerin ve konumlarının doğruluğunun teyit edilmesi açısından önemlidir. İhtiyaç duyulması durumunda aynı lokasyonlarda 24 saat ölçüm yapabilen ve taşınabilir özelliğe sahip cihazlar ile de ölçüm yapılmaktadır.

Yeraltı madencilik faaliyetlerinde alınabilecek en akılcı tedbir ve çözüm, gerçek zamanlı olarak gaz oranlarının izlenmesi ve sürekli kontrol altında tutulmasıyla sağlanabilir. Yapılan çalışmalara göre insan gereksinimine ihtiyaç duyulmadan otomasyon ağırlıklı merkezi izleme sistemleri sayesinde ocak için kontrol altına alınarak daha güvenli ve verimli çalışma ortamı sağlanabilmektedir (Mallı ve ark., 2014).

Yeraltı Patlatma Sistemi: Madencilik faaliyetlerinde üretimin hızlı ve ekonomik bir şekilde sağlanabilmesi ancak patlatma işlemi ile mümkündür. Bu da delme ve patlatma işlemlerinin kontrollü bir şekilde gerçekleşmesiyle sağlanabilir (Kahraman ve Kılıç, 2016). Çalışmanın yapıldığı işletmede patlatma işlemi iş güvenliği açısından değerlendirildiğinde; ateşleme işlemi için personel aynada değil yerüstünde bulunmaktadır. Elektronik kapsül adi kapsül gibi ezilme, çarpma, statik elektrik gibi dış etkilerden etkilenmemektedir. Blasterdaki onay komutu haricinde kesinlikle herhangi bir nedenden dolayı patlama gerçekleşmez. Ateşlemenin yapılabilmesi için sistemde birkaç aşamalı güvenlik kontrolleri yapıldıktan sonra ateşleme gerçekleştirilir. Ateşleme için tüm hazırlıklar gerçekleştirildiği halde son anda ateşlemeden vazgeçilmesi durumunda, cihazların ayarları sıfırlanır, bağlantılar kesilir ve elektronik kapsül çıkarılarak patlatma işlemi iptal edilir. Çıkarılan elektronik kapsül daha sonra logger yardımıyla yeniden ayarlanıp (gecikme) başka bir patlatmada kullanılabilir. Sistemin aktif hale getirilmesi ve ateşleme için yeraltında değil de yüzeyden yapılması patlatma işlemini eski yöntemlere nazaran daha güvenli hale getirmektedir.



Şekil 5.6. Patlatma Öncesi Alınan Hata Kodu Ekran Görünümü

Şekil 5.6'da 16.07.2021 tarihinde gündüz vardiyasında yapılan (2 kapsül) atım görülmektedir. Patlatma öncesinde Logger Blaster'a bağlanarak atım öncesinde gerekli bilgileri Blaster'a iletir. Eğer patlatma işlemi kablosuz ağ (internet) üzerinden gerçekleştirilecekse bir Blaster ocak içinde bir Blaster'da ocak dışında bulundurulur. Kablolu patlatma yapılacak ise tek Balster (ocak dışında) yeterli olacaktır. Kablosuz ağ üzerinden yapılan patlatmada, kapsüller ve mavi dongle ocak içindeki Blaster'a takılır. Ocak içindeki bilgiler mavi dongle yüklendikten sonra ocak dışındaki Blaster'a takılır. Patlatma öncesinde bütün bilgiler aktarılır ve ocak içindeki Blaster ile bağlantı kurulduktan sonra aktarılan bilgiler kontrol edilir. Bilgilerin doğruluğu onaylandıktan ve veri aktarım sağlandıktan sonra kırmızı dongle takılır ve patlatma işlemi gerçekleşir. Kablolu patlatma işleminde ise ateşlemede mavi dongle'ye ihtiyaç duyulmaz. Logger'a yüklenen veriler Blaster'a aktarılır daha sonra kırmızı dongle takılır ve patlatma işlemi gerçekleştirilir. Patlatma esnasında sistemin hata vermesi durumunda logger kapsüllere sinyal gönderir ve oluşan hatanın kaynağı (kablo kopması, kısa devre) tespit edilir ve hata giderilir. Eğer patlatma ateşleme kablosu kullanılarak yapılmak

isteniyorsa mavi dongle gerek kalmaz logger'a aktarılan bilgiler Blaster'a aktarılır ve patlatma gerçekleşir. Sistem eski usül patlatma sistemine nazaran daha güvenlidir. Statik elektrik veya herhangi bir enerji kaynağı sistemi aktif hale getirmez. Ancak sistemde yaşanabilecek enerji kaybı kablosuz patlatma için yapılan ayarların güncellenmesine, patlatmanın gecikmesine ve zaman kaybına neden olmaktadır.

Pause: Yeraltı madencilik faaliyetlerinin yapıldığı alanlarda farklı sebeplerden dolayı düşmek üzere olan parçaların kontrollü şekilde düşürülmesi paus'larla yapılmaktadır. Paus'un uzayan bomu sayesinde düşürülmek istenen parça ile çalışan veya makine arasında belirli bir mesafe bırakılmasına, erişimi güç olan lokasyonlarda düzenli kavlak alınabilme imkânı sağlamaktadır. Çalışmanın yapıldığı işletmede flis, kireçtaşı ve pirit gibi yapıların cevher yapısında bulunması kavlakların blok halinde düşmesine neden olabilmektedir. Tavan ve ayna güçlendirme işlemleri için split set (2,4 m, 39 mm dış çap, 35 mm iç çap), hasırlı slipt set (5x2,5) XA (demir bağlar) ve püskürtme beton kullanılmaktadır. 2013 tarihinde işletmede yapılan jeoteknik raporuna göre, çalışma alanı kazı tipi olarak B (uzun süreli maden kazıları, su tünelleri, büyük kazılar için açılan pilot tüneller, geniş yeraltı kazıları, orijinal ESR:1,6 güncelleştirilmiş ESR:1,6-2,0) sınıflama sistemine girdiğinden ESR:1,6 olarak belirlenmiştir. Buna bağlı olarak De (1,875 destek gerekmez, 2,5 destek gerekmez, 3,125 3-4 cm kalınlığında desteksiz püskürtme beton) sınıflamasına göre destek seçimi 3 m, 4 m, 5 m olan tünel çaplarına göre belirlenmiştir. Q değerine (2,72) göre, kireçtaşı içerisinde açılacak 3-4 m çaplı tüneller için destek gerekmez iken, 5 m'den sonra desteksiz 4 cm kalınlığında püskürtme beton önerilmektedir. 1 m^3 püskürtme beton için 400 kg 0-5 mm kum, 300 kg çimento, 250 lt su, 25-30 lt sıca (priz hızlandırıcı), 4 kg fiber kulanılmaktadır.

Pause ile kavlak düşürme işlemi, makinenin ön bomunda bulunan kırıcının kavlağa darbe yapması şeklinde gerçekleşmektedir. Bu işlem esnasında ortaya

çıkan tozlar kırıcının bomuna monte edilen su pompalarıyla bastırılmaktadır. Pause, düz galerilerde yaklaşık 25 m'ye kadar uzayabilmektedir. Paus'un uzaktan kontrol edilebilir olması olası bir yaralanmanın en az zararla atlatılmasını sağlar. Ancak yeraltı üretim alanlarının karanlık olması, galerilerin dar olması, operatörlerin makinenin kontrolünü kaybetme ihtimali, makinenin ani ve kontrolsüz şekilde manevra yapması, enerji hatlarını ezmesi/koparması, çalışanların takılması veya düşmesi sonucu araç altında kalarak ezilmesi, kavlağın makinenin bomuna düşerek (uzaktan kontrol) maddi hasara yol açması, kabine taş sıçraması (manuel kullanım) ve toz bastırıcı olarak kullanılan hortumların çok sık hasar görmesi sonucu tozların bastırılamaması gibi durumlar, çalışanlar için ciddi risk oluşturabilmektedir. Bu tür riskli durumlar için alınabilecek koruyucu ve önleyici tedbirler şu şekilde sıralanabilir: Araç kabinine taş veya kavlak sıçraması veya düşmesi durumuna karşı kabin kısmında bulunan ön hat boyunca tel ağların çekilmesiyle kavlakların çarpma şiddeti kısmen azaltılabilir. Çalışma yapılması planlanan alanlar net görülecek şekilde aydınlatılması sağlanabilir. Su pompalarının hasar görmesi ve suyun bitmesi ihtimaline karşı yedek su pompası ve araca monte edilebilen orta hacimli su deposu entegre edilebilir.



Şekil 5.7. Makine Çarpmalarına Karşı Oluşturulan Yeraltı Sutreleri

Mevcut riskler (çarpma, ezilme, yaralanma vb.) dikkate alınarak alternatif iş güvenliği önlemi olarak ocak içine taşınabilir sutreler (Şekil 5.7) yerleştirilmiştir. Sutreler, makine kaynaklı çarpma ve ezilme riskleri göz önünde bulundurularak, yerden yaklaşık 1,5 m yükseklikte ve darbelere karşı dayanıklı şekilde tasarlanmıştır.

GeoSight CMS: Kat arası ve tavan göçertmeli üretim yöntemlerinin yapıldığı alanlarda büyük boşluklar oluşabilmektedir. GeoSight CMS, yeraltı madencilik faaliyetlerinin yapıldığı yerlerde erişilmesi zor ve tehlikeli boşlukların taranması amacıyla kullanılmaktadır. CMS kullanılarak bir yeraltı ocağında boşluk ölçümü şu şekilde gerçekleşir: Ocak içinde ölçüm yapılmadan önce boşluklar tespit edilir. CMS ölçüm yapılması planlanan alana girilmeksizin uzun bir aparat kullanılarak belirlenen alana yerleştirilir. CMS, ölçüm yapılan noktalara birden çok sinyal gönderir, daha sonra geri dönen sinyalleri cihaza kaydeder. Gerekli ölçüm işlemi yapılıp koordinatlar alındıktan sonra veriler bilgisayara aktarılır. Daha sonra bu veriler Micromine veya NetCat programı kullanılarak boşluklar tespit edilir. CMS ile yapılan ölçümlerde, galeri sürülürken oluşabilecek boşluklar daha önceden tespit edeceği için bu alanlarda muhtemel riskin önceden tespit edilmesine imkân sağlar. CMS bulunduğu lokasyonun tabanından tavanına 360^{o} ölçüm yaparak 3 boyutlu ölçüm alır. Örneğin üretimi biten alanlara dolgu yapılmak istendiğinde, dolgu öncesi ve sonrası CMS kullanılarak ölçüm yapılabilir. Sonuçları karşılaştırılarak aradaki fark m^3 olarak hesaplanabilir. Bu durum aynı zamanda boşluk için ne kadar dolgu malzemesinin kullandığı hakkında da bilgi verir.

Yeraltı Madenciliğinde Haritalama: Madencilikte haritalama işlemi de Geosight CMS ve Total Station ile yapılan ölçümlere benzemektedir. Ancak haritalama işleminde Mira'lar da kullanılmaktadır. Mira'lar ölçüm yapılması planlanan lokasyona (galerinin şekline, girinti ve çıkıntılarına göre) sinyal

gönderir. Geri dönen sinyaller Mira'da toplanır daha sonra bilgisayara oradan da NetCad programına aktarılır. Bu işlem gerçekleşirken aynı zamanda CMS ve Total Station ile yapılan ölçüm sonucu elde edilen verilerde aktarılarak yeraltı imalat haritası oluşturur. Elde edilen ölçüm sonucunda; hangi alanda ne kadar boşluk olduğu, hangi galeride ne kadar ilerlendiği, galeri koordinatlarının ve kotlarının ne olduğu, hangi galerinin hangi galerinin üzerinde veya altında olduğu, havalandırma kuyusuna ne kadar mesafede geçildiği, ocak içinde oluşturulan ocak havuzunun bulunduğu alana olan mesafenin ne kadar kaldığı gibi hususlar haritalama işlemi sonucunda rahatlıkla tespit edilebilmektedir. Ayrıca katlar arasındaki topuk (paralel mesafe) uzunluklarını ve et kalınlığının (yükseklik farkı) kontrolünü sağlar. İlerleme yapılmış bir galeride galerinin atım başı değerlerini ve patlatmaların yüzde kaç verimle gerçekleştiğine, atım sonrasında katlar arasında oluşabilecek kırılmalara karşı çalışanların önceden tedbir alarak can ve mal kaybını minimum seviyeye indirmeye, maden göçük olaylarında yerüstünden göçüğün yaşandığı noktaya en yakın güvenli noktaya nereden ve nasıl daha kısa sürede gidileceği hususlarında bilgi verir.

Total Station: Total Station, prizmatik bir reflektör kullanılarak işaretlenen seçili noktaların kartezyen koordinatlarını hesaplamak amacıyla kullanılmaktadır. Total Station'lar teodolitlerin geliştirilmesi sonucu ortaya çıkmıştır (Schofield ve Breach, 2007). Çalışmanın yapıldığı yeraltı ocağının yaklaşık 60 km'lik alanına poligon ağ döşenmiştir. Bu ağ sayesinde ocağın en ücra noktasına kadar ilerlenerek yükseklik ölçümü, uzunluk ölçümü ve haritalama işlemi yapılabilmektedir. Total Station'lar sıcaklık, bağıl nem ve basınç gibi faktörlerden etkilenebilmektedir. Stres ve şok ölçümlerde sapmalar yaşanabilmekte. Bu nedenle özellikle yeraltı madencilik faaliyetlerinde ölçüm cihazlarının kalibrasyon ayarlarının düzenli yapılması hem ölçüm sonuçlarının doğruluğu açısından hemde cihazın kullanım ömrünün uzaması açısından önemlidir.

Simba: Simba, yeraltı madencilik faaliyetlerinde orta ve büyük çaplı galerilerde, kat arası üretimlerde tavan ve yan cidarlarda delim yapmak amacıyla kullanılmaktadır. Simba da her tij 1,8 m delmekte ve 18 m'ye kadar delim yapılabilmektedir. Havalandırma ferelerinin açılmasında, malzeme naklinin sağlanacağı kısa yol ferelerinin açılmasında kullanılmaktadır. Simba ile yaklaşık 25 m kadar rahatlıkla delim yapılabilmektedir. Ancak bu mesafe delimlerde sapmalara neden olduğu için pek randuman alınamamaktadır. Ayıca üretim aşamasında 25 m delim yapılan bir patlatma işlemi büyük risk içerebilmektedir. Fakat simba ile uzun delimler yapılarak 25-30 m'lik mesafede herhangi bir cevherin olup olmadığı tespit edilebilir, kısa metrajlarda cevher taraması yapılabilir. Simba ile tij değişimi (ekleme-çıkarma) otonom olarak kendisi değiştirdiğinden uzuv kopması veya yaralanma riski minimum düzeydedir.

Acil Çıkış Noktaları ve Yaşam Odalarının Mesafeleri: Yeraltı sığınma sistemleri, acil durumlarda çalışanların sığınmaları ve temiz hava temini sağlamak amacıyla tasarlanmış güvenlik sistemleridir. Yeraltı madencilik faaliyetlerinde iki tip yaşam odası kullanılmaktadır. Bunlar: Kömür madenleri için kullanılan yaşam odaları ve metal madenler için kullanılan yaşam odalarıdır. Metal madenlerde kullanılmak üzere HRM tipi sığınma odaları üretilmiştir. Odaların kapasitesi; 8-12-16-20-26 ve 30 kişilik olup bu oran tüketicinin talebine göre değişkenlik gösterebilmektedir. Sığınma odaları için ihtiyaç duyulan enerji gereksinimi, dahili batarya ve elektrik enerjisi ile sağlanmaktadır. 24-96 saat boyunca tam bağımsız çalışabilir ve taşınabilir özelliğe sahiptir. Kömür madenlerinde ise CoalSAFE model yaşam odaları tasarlanmıştır. Kolay taşınabilir ve elektriksiz çalışabilmektedir. Odaların kapasiteleri; 8-12-16-20-24 kişilik olup tüketici talebine göre değişkenlik gösterebilmekte ve 96 saat tam bağımsız çalışabilmektedir (Kılıç ve Aydın, 2019). Çalışmanın yapıldığı işletmede üç adet yaşam odası bulunmaktadır. Acil durum gerektiren hallerde çalışanların 1 Nolu

yaşam odasına erişimi 9 dk. 30 sn.'dir. 2 Nolu yaşam odasına erişim 10 dk. 30 sn. 3 Nolu yaşam odasına erişim ise 10 dk. 20 sn.'dir.

Çalışanlar ve ziyaretçiler acil çıkış noktalarını kullanamadıkları tehlikeli durumlarda risk ortadan kalkana kadar yaşam odalarına sığınırlar. Acil veya tehlikeli durumlarda çalışanların ve ziyaretçilerin acil çıkışlara ve yaşam odalarına erişimleri ortalama 12 dk.'dır. Bu tür durumlar için üretim alanlarında ve yaşam odalarında 30 dk. yetecek şekilde ferdi oksijen kurtarıcı maske bulundurulmaktadır.

Acil Durum Planı: Acil durum planı, iş kazası, deprem, yangın, göçük, kimyasal sızıntı, bulaşıcı hastalıklar vb. durumlar göz önünde bulundurularak hazırlanır. Çalışmanın yapıldığı işletmede 07.02.2019 tarihinde acil durum eylem planı (04.04.2020 revize), 26.03.2019 tarihinde risk değerlendirme raporu, 23.07.2020 tarihinde ortam ölçümleri, 14.07.2020 tarihinde iş makinaları, basınçlı kaplar ve kaldırma araçlarının periyodik kontrolleri, 18.05.2020 tarihinde paratoner ve topraklama ölçümleri yapılmıştır.

Çizelge 5.1'de çalışmanın yapıldığı işletmede koronavirüs (Covid-19) pandemisi kapsamında yapılması gereken hususlar belirtilmiştir.

Çizelge 5.1. İşletmede Pandemiye (Covid-19) Karşı Alınan Tedbirler

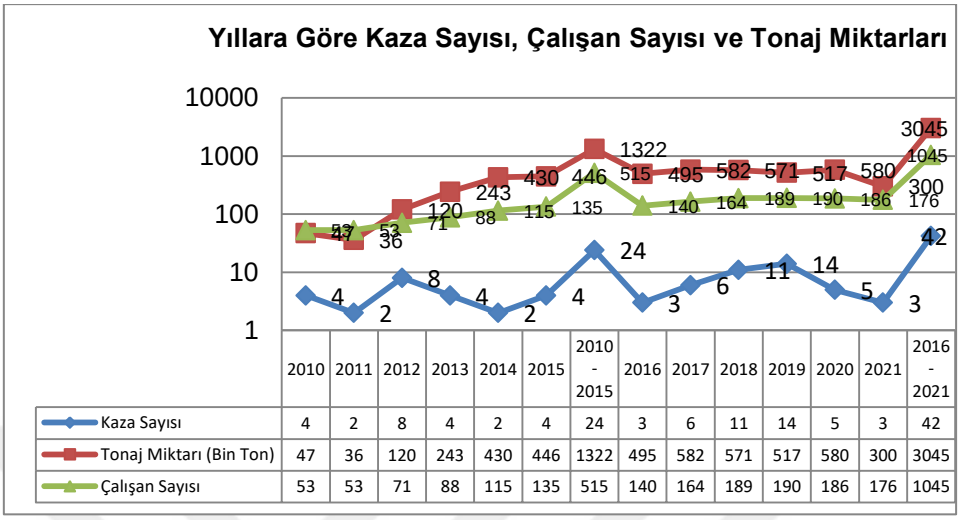
Acil Durumlar	Yapılacak Faaliyetler	Metotlar	Sorumlu
Kovid-19 Pandemisi	Şüpheli vakalarda çalışanlara maske takılması sağlanmalı		Acil Durum K.
	Şüpheli durumun işyeri Hekimi tarafından kontrolü sağlanmalıdır	Fiziki Muayene	İşyeri Hekimi
	Şüpheli çalışan her türlü ihtimale karşı izole edilmiş alanda tutulmalıdır.		Acil Durum K.
	İlgili Bakanlığın ilgili birimi ile iletişime geçilerek çalışanın sevki sağlanmalıdır.		Acil Durum K.
	Şüpheli sağlık kuruluşuna gidene kadar özel ihtiyaçlarını karşılamak için ayrı alanlar tahsis edilmelidir.		Acil Durum K.

	Enfeksiyona yakalanan çalışanın bekletildiği alan dezenfekte edilmelidir.	Kimyasal Malzeme ile Temizlik	Acil Durum K.
	Tanı konması durumunda çevresinde bulunan çalışanlar hastalıkla ilgili bilgilendirilmeli ve ilgili sağlık kurumlarına yönlendirilmesi sağlanmalıdır.		Acil Durum K.

Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı (AÇSHB) yayınlamış olduğu işyerlerinde koronavirüse (Covid-19) karşı alınması gereken önlemler kapsamında; iş sağlığı ve güvenliği kurullarının bulunduğu işyerlerinde iş güvenlik kurulları tarafından, diğer işyerlerinde ise, işveren veya işveren vekili koordinesinde, iş güvenliği uzmanı, bulunması halinde işyeri hekimi, diğer sağlık çalışanı, işyeri temsilcisi ve ilk yardım eğitimi almış kişilerden oluşan ekip tarafından hazırlanmaktadır (AÇSHB, 2019**).**

İşletmenin 2010-2021 Yıllarına Ait Kaza Sayısı, Çalışan Sayısı ve Tonaj Miktarı: Çizelge 5.2'de çalışmanın yapıldığı işletmenin 2010-2021 yıllarına ait iş kaza sayısı, çalışan sayısı ve tonaj miktarları verilmiştir. İşletmenin 2010-2015 yıllarına ait verileri incelendiğinde çalışan sayısının ve üretimin en çok olduğu yıl 2015 yılı olurken, en çok iş kazası 2012 yılında yaşanmıştır. 2016-2021 yıllarına ait veriler incelendiğinde üretimin en çok olduğu yıl 2017, en çok iş kazasının yaşandığı yıl 2019, en çok çalışanın istihdam edildiği yıl ise 2019 olmuştur.

Çizelge 5.2. İşletmenin Yıllara Göre Kaza Sayısı, Çalışan Sayısı ve Tonaj Miktarı



	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2010 - 2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2016 - 2021
Kaza Sayısı	4	2	8	4	2	4	24	3	6	11	14	5	3	42
Tonaj Miktarı (Bin Ton)	47	36	120	243	430	446	1322	495	582	571	517	580	300	3045
Çalışan Sayısı	53	53	71	88	115	135	515	140	164	189	190	186	176	1045

5.2. İşletmeler İçin Endüstri 4.0 Yol Haritasının Oluşturulması

Endüstri 4.0, işletmelerin tüm işleyişini ve değer zincirini etkileyerek (çalışma şekilleri, liderlik anlayışı, üretim yöntemleri vb.) birçok olgunun kapsamlı şekilde değişimini zorunlu hale getirecektir (Oswald and Krcmar, 2018). Bu değişimin başarılı bir şekilde yönetilebilmesi etkin bir strateji ve doğru hazırlanmış bir yol planı ile sağlanabileceği (Klein, 2020) öngörülmektedir. Çünkü her sürecin bir sonraki aşama üzerine entegre edildiği ve daha fazla değer kattığı bir geçiş süreci yaşanmaktadır.

İşletmelerin potansiyel teknolojik durumları ve yönetimsel değişiklikleri, Endüstri 4.0 stratejilerini ve sistematik yatırımlarını olumsuz yönde etkiliyebilmektedir. Ayrıca, yüksek yatırım maliyetleri yüzünden Endüstri 4.0'a uygun olmayan üretim altyapısı, eksik şeffaflık, Endüstri 4.0'ın ölçülebilirliği, yönetimsel değişiklik, BT (Bilgi Teknolojileri) güvenliği ile ilgili endişeler (Sorko ve ark.,2017), nitelikli çalışan eksikliği, yetersiz Ar-Ge ve Ür-Ge çalışmaları vb. nedenler işletmeleri Endüstri 4.0 yolunda zorlayan unsurlardır.

İşletmelerin Endüstri 4.0 ile ilgili çözümler ve kapsamlı araştırma çalışmaları üç aşamadan oluşmaktadır: Temel Endüstri 4.0 teknolojilerinin

tanımlanmasında yaşanan zorlukları ve faydaları, Endüstri 4.0 seviyesine göre uygulama veya sınıflandırma olgunluk düzeyleri, Endüstri 4.0 teknolojilerinin uygulanması için bir süreç modeli veya yol haritasıdır (Cotrino ve ark.,2020). Bir işletmenin Endüstri 4.0 ve beraberinde getirmiş olduğu unsurları işletmeye entegre edilebilmesinde öncelikle kendi iş süreçlerini, işletme stratejisini ve işletme felsefesini doğru şekilde analiz edilmesi ile başlar. Bu nedenle Endüstri 4.0 dönüşümünden sorumlu olan kişi/kişilerin karmaşıklık düzeyi her geçen gün daha da artan teknoloji ve pazar uygulamalarına yönelik bilgi düzeylerini artırmaları gerekmektedir.

Endüstri 4.0'ı geçmiş sanayi devrimlerinden ayıran en belirgin özelliklerinden bir tanesi mevcut ve yeni/ileri teknolojilerin birbirlerine entegre edilmesiyle daha karmaşık yeni teknolojilerin ortaya çıkmasıdır. Bu bakımdan teknoloji seçimi, geçmişte olduğundan çok daha farklı bir noktaya gelmiş ve "teknolojiyi yönetmek" haline dönüşmüştür (Banger, 2018). İşletmelerin bu noktada ihtiyaç duyacakları ilk şey, sağlam bir vizyon ve Endüstri 4.0 yol haritasıdır. Endüstri 4.0 ile ilgili vizyon oluşturup yol haritası hazırlanırken işletmenin mevcut koşulları, kendi iç dinamikleri ve iyileştirme noktalarını dikkate almaları gerekir. Çünkü bu durum sektörel dinamiklerin ve beklentilerin iyi analiz edilebilmesi açısından büyük önem taşımaktadır. Endüstri 4.0 vizyonu sanallaştırma ve internet gibi kavramları merkezinde barındırmasından dolayı gelecekte sunacağı fırsatları iyi anlamak gerekir. Çıkılan bu yolda kaybolmak yerine doğru adımları belirleyip doğru zamanda doğru adımı atmak işletmelerin bir adım öne çıkmasına neden olacaktır (Davutoğlu ve ark., 2017). Bu nedenle yaşanan değişim sürecinin amacını, hedefini ve takibini yapmakla görevli bir ekip oluşturulmalıdır. Ekip üyeleri farklı bakış açılarına ve vizyon sahibi kişiler içinden seçilmelidir. Çünkü Endüstri 4.0 kapsamında yaşanacak büyük değişimin doğru analiz edilmesi ve bu yönde aksiyon planlarının hazırlanması işletmenin gelecekteki stratejileri için hayati derecede öneme sahip olacaktır.



Şekil 5.8. İşletmeler İçin Endüstri 4.0 Yol Haritası

Yapılan çalışma kapsamında işletmelerin Endüstri 4.0 dönüşüm sürecini başarılı şekilde hayata geçirebilmeleri için örnek bir "İşletmeler için Endüstri 4.0 yol haritası" oluşturulmuştur. Bu noktada makro ve mikro boyuttaki işletmelerin altı adımdan oluşan yol haritasını takip etmeleri tavsiye edilebilir. Öncelikle her karar verici, işletmesinin mevcut durum analizini yapmalı ve hedeflerini belirlemelidir. Şekil 5.8'de işletmeler için Endüstri 4.0 yol haritasına göre karar sürecinde oluşturulan ana kriterler; nitelikli iş gücü, ilk yatırım maliyetleri, Ar-Ge çalışmaları, üretilen ürün niteliği, kullanılan teknolojinin niteliği ve mevcut altyapı durumu unsurlarından oluşmaktadır. Her ana kriter başlığının altında bu kriteri destekleyici ve sürdürülebilir kılmak amacıyla alt kriter oluşturulmuştur. Bunlar başlıca;

Nitelikli iş gücü: Çalışanların görev tanımı, meslek grupları, yeterlilik tespiti, yeterliliğin belgelendirilmesi, eğitim programları, eğitim sonrası yeterlilik ve yenileme gibi unsurlardan oluşmaktadır. Çalışanlar gelişen teknoloji karşısında daha donanımlı ve yetkin olmaları konusunda desteklenerek kişisel beceri ve yetkinlikleri artırılabilir.

Endüstri 4.0 ile katma değeri düşük olan basit işleri robotlar tarafından yapılacağı işgücünün ise teknolojiyi kullanma gereksinimi duyulan ileri iş süreçlerine kaymasıyla verimliliğinde de artması beklenmektedir. Bu durum aynı zamanda sanayide nitelikli iş gücüne olan gereksinimi de artmasına neden olacaktır (OECD, 2015; Frey ve Osberne, 2013; Arntz ve Zierahn, 2016).

İlk yatırım maliyetleri: İşletmeler hazırlayacakları Endüstri 4.0 yol haritalarının gelişim süreçlerini kısa (1-3yıl) ve uzun (3-10) vadede takip edebilecekleri yatırım planları hazırlamalılar. Endüstri 4.0 dönüşüm süreci işletmeler için uzun soluklu ve stratejik bir gereklilik arz etmesinden dolayı karar vericilerin vizyonu bu sürecin başarıya ulaşması açısından önemlidir. Bu nedenle geliştirilecek stratejilerin gelecekte yaratacağı katma değer göz önünde bulundurularak kısa ve uzun vadeli hedefler saptanmalı ve bu hedeflere taahhütler konulmalıdır (Yüksel,2019).

Ar-Ge: Karar vericiler yapılması planlanan değişim için yeterli finansman payını oluşturmalı ve görev tanımlamaları yapmalılar. İşin niteliği dikkate alınarak sürece uyumlu personel tanımlanmalı ve prosedürler oluşturulmalıdır.

Üretilen ürün niteliği: Üretim süreçlerinde kullanılan teknolojilerin, üretilen ürünün niteliği ile yakın ilişkisi bulunmaktadır. Sistemli bir analiz sonucunda karar vericiler tarafından, kabul kriterleri, kriterlere uygunluk, uygunluk onayı, ön uygulama, uygulama onayı, sistem entegrasyonu ve sistemin uygulanması unsurlarından oluşan bileşenlerden oluşabilir.

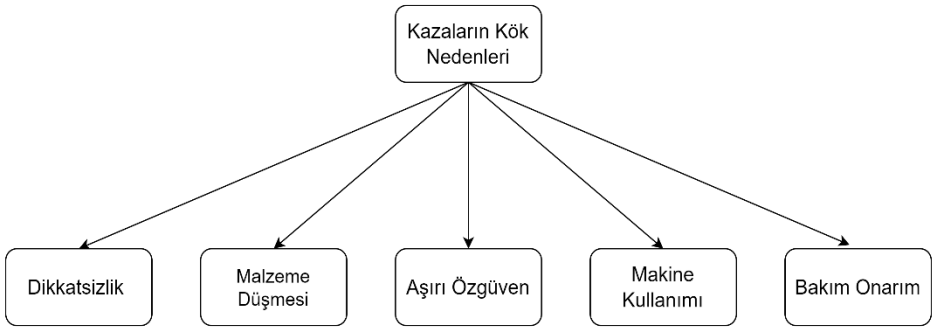
Kullanılan teknolojinin niteliği: Üst yönetim, teknik personel, ulusal ve uluslararası standartlara uygunluk vb. özellikler taşıması gerekecektir. Örneğin

Makine Emniyet Yönetmeliği (98/37/EC) "Üretici, imal edilen makine ve emniyet parçalarının bu yasal düzenlemenin şartlarının taşıdığını belgelemek üzere AB uygunluk beyanı düzenler" şeklinde uygunluk beyanı hazırlaması gerektiğini belirtmiştir (Erkal ve Konukseven, 2007)

Teknik altyapı: IoT, donanım, yazılım, altyapı, sensör, makine ve bilgisayar gibi unsurlardan oluşmaktadır. Teknik altyapı, işletmelerin gerçek zamanlı veri akışını sağlayacak şekilde güvenilir ve hızlı düzeyde olmalıdır (TÜSİAD ve Boston Consulting Group, 2016). Endüstri 4.0 yolunda işletmelerin başarılı olabilmeleri için bilgi ve iletişim teknoloji alt yapısının güçlendirilmesi gerekmektedir (TÜSİAD, 2018).

5.3. AHP Yönteminden Elde Edilen Sonuçların Değerlendirilmesi

Literatürde AHP yöntemi kullanılarak iş güvenliği ile ilgili farklı alanlarda yapılmış birçok çalışma bulunmaktadır. Ancak risk, ramak kala veya iş kazalarının ağırlıklandırılması veya önceliklendirilmesine yönelik yapılan çalışmaların, yapılan literatür araştırmasında çok az olduğu görülmüştür. Bu çalışmada AHP yönteminin uygulanmasındaki temel amaç; yeraltı madencilik faaliyetlerinde meydana gelebilecek kazaların kök nedenlerinin neler olabileceğinin tespit edilmesi ve önem düzeyine göre sıralanmasıdır. Çalışma kapsamında uzman kişilerin görüş ve önerileri dikkate alınarak yeraltı metal madenlerinde en çok iş kazasına neden olan hususlar beş ana başlık (kriter) altında toplanmıştır. Veriler Microsoft Excel ve Super Decision ANP Version 3.2.0 ile analiz edilmiş ve sonuçlar her iki yöntemde de tutarlı çıkmş ve kazaların kök nedenleri önem düzeylerine göre sıralanmıştır. Yapılan çalışmada elde edilen bulgular aşağıda belirtilmiştir.



Şekil 5 9. AHP Hiyerarşik Yapı

Madencilik sektörü çok tehlikeli iş kollarından bir tanesidir ve yapısı gereği birçok riski içinde barındırmaktadır. Bu nedenle yapılan çalışmada yalnızca ana kriterler çalışmaya dahil edilmiştir. Şekil 5.9'da yöntemin çözümünde kullanılan hiyerarşik yapı görülmektedir. Kiterlerin tespit edilmesinde uzman görüşleri alınmış ve kaza kök nedenleri; K1 (Dikkatsizlik), K2 (Bakım Onarım), K3 (Makine Kullanımı), K4 (Aşırı Özgüven), K5 (Malzeme Düşmesi) olarak belirlenmiştir. Yöntemin çözünümde öncelikle Microsoft Excelden faydalanılmıştır.

Çizelge 5.3. İkili Karşılaştırmada Kullanılan Ölçüt

	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
Dikkatsizlik (K1)																		Bakım Onarım (K2)
Dikkatsizlik (K1)																		Makine Kullanımı (K3)
Dikkatsizlik (K1)																		Aşırı Özgüven (K4)
Dikkatsizlik (K1)																		Malzeme Düşmesi (K5)
Bakım Onarım (K2)																		Makine Kullanımı (K3)
Bakım Onarım (K2)																		Aşırı Özgüven (K4)
Bakım Onarım (K2)																		Malzeme Düşmesi (K5)
MakineKullanımı (K3)																		Aşırı Özgüven (K4)
MakineKullanımı (K3)																		Malzeme Düşmesi (K5)
Aşırı Özgüven (K4)																		Malzeme Düşmesi (K5)

AHP çözümünde kriterlerin, alt kriterlerin veya alternatifler belirlendikten sonra her bir kriter veya diğer unsurlar için karşılaştırma yapılır. Çizelge 5.3'te ikili karşılaştırmada kullanılan ölçüt görülmektedir. Her bir katılımcının yapmış olduğu karşılaştırma verileri katılımcı sayısı dikkate alınarak hesaplanır. Yapılan çalışmada beş katılımcının verileri üzerinden analiz yapılmıştır. Her bir katılımcının vermiş olduğu cevaplar dikkate alındığında; her bir kritere karşılık gelen değerin geometrik ortalaması alınarak bir matris elde edilmiştir.

Oluşturulan ikili karşılaştırmada her köşegen kendisi ile karşılaştırılacağından değeri 1 olmalıdır.

Köşegen üstünde kalan kısım birbirlerine oranlanarak bulunurken, köşegen altında kalan kısım 1/n olacak şekilde hesaplanmıştır.

Çizelge 5.4. Kriterler İçin İkili Karşılaştırma Matrisinin Oluşturulması

	K1	K2	K3	K4	K5
K1	1	4,2103	2,3031	1,2457	0,2934
K2	0,2375	1	1,1247	0,3773	0,2095
K3	0,4342	0,8891	1	0,3803	0,3505
K4	0,8028	2,6504	2,6295	1	0,8346
K5	3,4083	4,7733	2,8531	1,1982	1
Toplam	**5,8828**	**13,5231**	**9,9104**	**4,2015**	**2,688**

Çizelge 5.4'te ikili karşılaştırma matrisi oluşturulurken, her sütun toplanır ve toplam kısmına yazılır. Normalleştirilmiş matris, ikili karşılaştırma matrisi oluşturulduktan sonra her sütun toplamının her bir kritere ayrı ayrı bölünmesiyle elde edilir. Hesaplamada Eşitlik 5.1 kullanılmaktadır.

$$a'_{ij} = \frac{a_{ij}}{\sum_{i=1}^{n} a_{ij}} \tag{5.1}$$

Çizelge 5.5. Normalize Edilmiş Matris

Kriterler	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	Kriter 4	Kriter 5	Kriter Ağırlık(W)
Kriter 1	0,1699	0,3113	0,2324	0,2965	0,1092	0,2239
Kriter 2	0,0404	0,0739	0,1135	0,0898	0,0779	0,0791
Kriter 3	0,0738	0,0658	0,1009	0,0905	0,1304	0,0923
Kriter 4	0,1365	0,196	0,2653	0,2380	0,3105	0,2293
Kriter 5	0,5794	0,353	0,2879	0,2852	0,3720	0,3754
Toplam	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**	**1**

Normalize edilmiş matris'te her sütun toplam değeri 1 olmalıdır. Bütün kriterler için hesaplama yapıldıktan sonra kriter ağırlığının hesaplanabilmesi için, her satır toplanır ve toplam kriter sayısına (n=5) bölünür. Elde edilen kriter ağırlık değerinin toplamı yine 1 olmalıdır. Hesaplamada Eşitlik 5.2 kullanılır.

$$w_i = \left(\frac{1}{n}\right)\sum_{j=1}^{n} a'_{ij}$$

(i, j= 1,2,3,….n) (5.2)

Çizelge 5.6. Tüm Öncelikler Vektör Hesabı

Kriterler	Kriter 1	Kriter 2	Kriter 3	Kriter 4	Kriter 5	Toplam (t)
Kriter 1	0,2239	0,333	0,2125	0,2856	0,1101	1,1651
Kriter 2	0,0532	0,0791	0,1038	0,0865	0,0786	0,4012
Kriter 3	0,0972	0,0703	0,0923	0,0872	0,1315	0,4785
Kriter 4	0,1797	0,2096	0,2427	0,2293	0,3133	1,1746
Kriter 5	0,7631	0,3773	0,2633	0,2747	0,3754	2,0538

Çizelge 5.6'da tüm öncelikler vektörü hesaplanırken her bir kriter, kriter ağırlığı ile çarpılır. Daha sonra her satırın toplamı alınır ve toplam (t) kısmına yazılır.

Çizelge 5.7. Tutarlılık İndeksi

Toplam	Kriter Ağırlık	t/c	Ortalama	Lamda Max.
1,1651	0,2239	5,204	5,211	5,211
0,4012	0,0791	5,072		**Consistency Index**
0,4785	0,0923	5,184		0,0525
1,1746	0,2293	5,123		
2,0538	0,3754	5,471		<0,10

Çizelge 5.7'de elde edilen tüm öncelikler matris değerleri, öncelik vektöründe hesaplanan kriter ağırlığına (t/c) bölünür. Elde edilen toplam değer, λ_{max} değerinin hesaplanabilmesi için kriter sayısına (n=5) bölünürek ortalaması

alınır. Elde edilen sonuç (5.3) numaralı formülde yerine konularak λ_{max} değeri hesaplanır.

$$\lambda_{\max} = \left(\frac{1}{n}\right)\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\sum_{j=1}^{n} a_{ij}.w_j}{w_i}\right) \tag{5.3}$$

Yapılan hesaplamada uyum indeksini (CI) elde etmek için ise Eşitlik 5.4 kullanılır.

$$CI = \frac{(\lambda_{\max} - n)}{(n-1)} \tag{5.4}$$

CI: (5,211-5) / 4= 0,0525 elde edilir.

Çizelge 5.8. Rastgele İndeksi

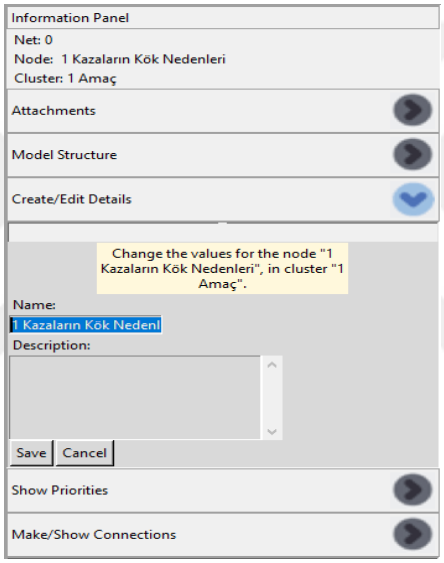
n	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
RI	0	0	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49	1,51

Uyum Oranın hesaplanabilmesi için son olarak Rastgele Değer İndeks seçimi (Çizelge 5.8) yapılmalıdır: Karar alternatif seçiminde kriter sayısı (n) 5 olduğundan dolayı Rastgele Değer İndeksi (RG) ise 1,12 dir.

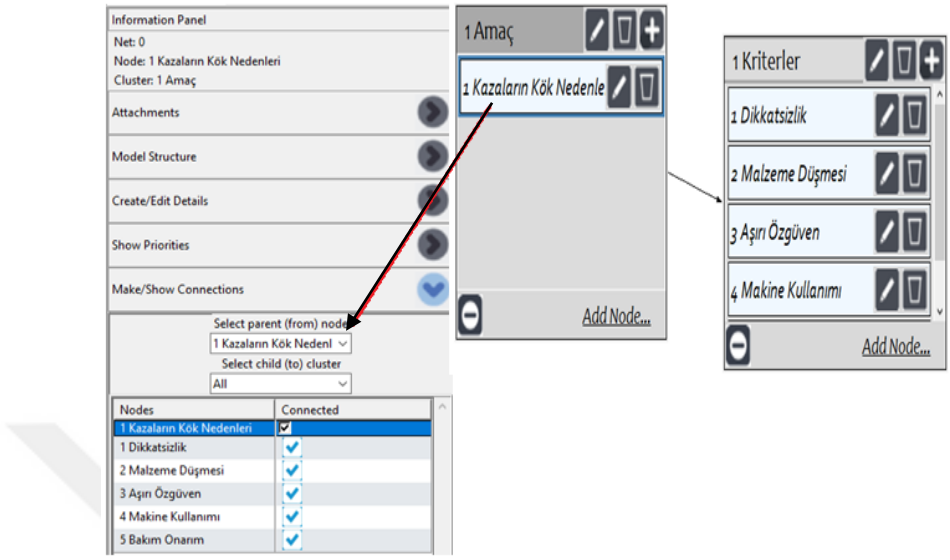
$$CR = \frac{CI}{RI} \tag{5.5}$$

CR: 0,05275 / 1,12= 0,0468

Elde edilen veriler formülde yerine konulduğunda 0, 0471<0,1 sonucu elde edilir. Yapılan çalışma Super Decision ANP Version 3.2.0 kullanılarak çözüldüğünde ise şu adımlar takip edilmektedir: Cerate/Edit Detail kısmı tıklanarak çalışmanın amacı ve buna bağlı olarak kazaların kök nedenleri (Şekil 5.10) oluşturulur. Aynı işlem ana kriterlerin oluşturulması içinde uygulanır. Daha sonra Make/Show Connection kısmı tıklanarak daha önce oluşturulan Amaç başlığı altında Kaza Kök Nedenleri ile Kriterler arasında bağlantı (Şekil 5.11) kurulur.

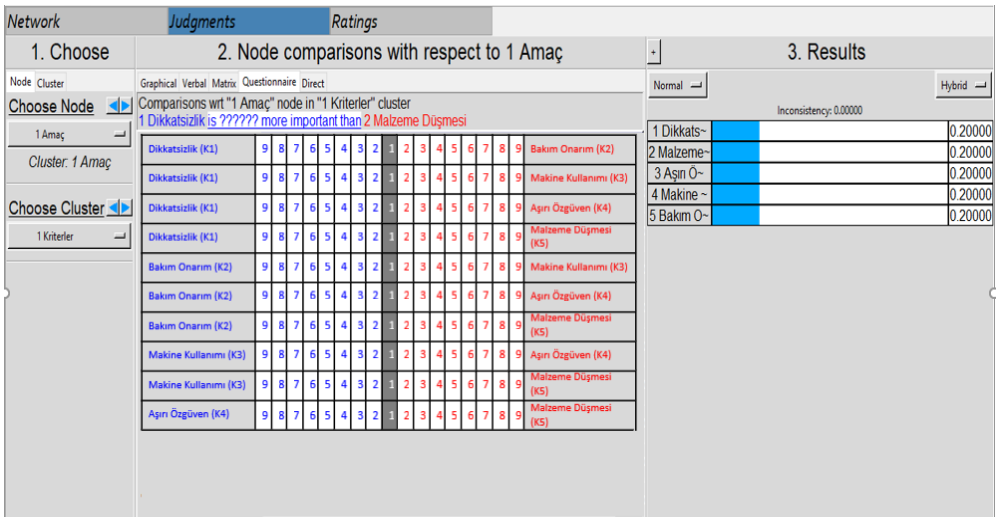


Şekil 5.10. Super Decision ANP Version 3.2.0 Programı Kullanılarak Amaç ve Kriterlerin Oluşturulma Ekran Görünümü



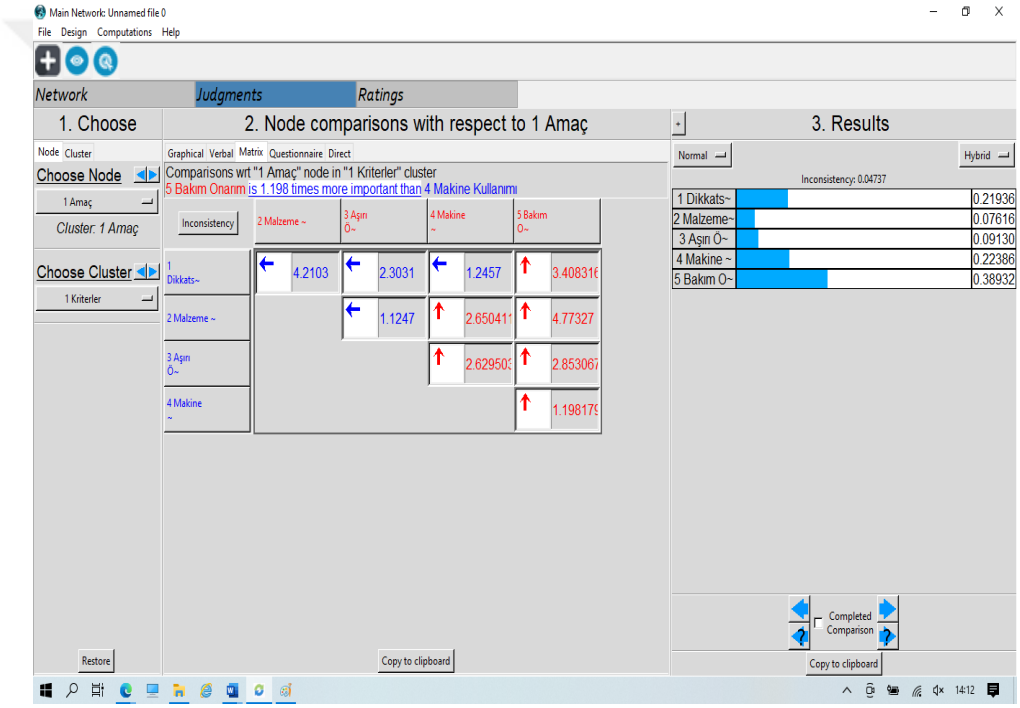
Şekil 5.11. Super Decision Programı ile Küme Oluşturma Ekran Görünümü

Kazaların Kök Nedenleri ile Kriterler arasında bağlantı kurulduktan sonra ekranda bulunan Judgement kısmı tıklanır.



Şekil 5.12. Amaca Göre Kriter Değerlerin Girilme Ekran Görünümü

Açılan pencerede: 1. Adımda Choose (seçim), 2. Adımda Node Comparasion with Respect to Kazaların Kök Nedenleri (kriterlerin karşılaştırılması) ve 3. Adımda Results (sonuçlar) kısmı görülmektedir. 1. aşamada Amaç kısmı tıklanarak Kazaların Kök Nedenleri seçilir. Choose Cluster kısmında ise daha önce oluşturulan Kriterlerin seçimi yapılır. Ekrana gelen karşılaştırmanın yapılabilmesi için Matris kısmı tıklanır ve çalışmaya katılan uzman görüşlerinin verileri girilir.



Şekil 5.13. İkili Karşılaştırma Ekran Görünümü

Yapılan çalışmada birden çok katılımcının veri girişi Microsoft Excel'de hesaplandığı gibi yapılmaktadır. Yani bütün katılımcıların ikili karşılaştırma verilerinin geometrik ortalamalarından elde edilen sonuçlar eklenir. Ekranda yalnızca tablonun simetrisi alınır ve üst kısım uygulayıcı tarafından doldurulur.

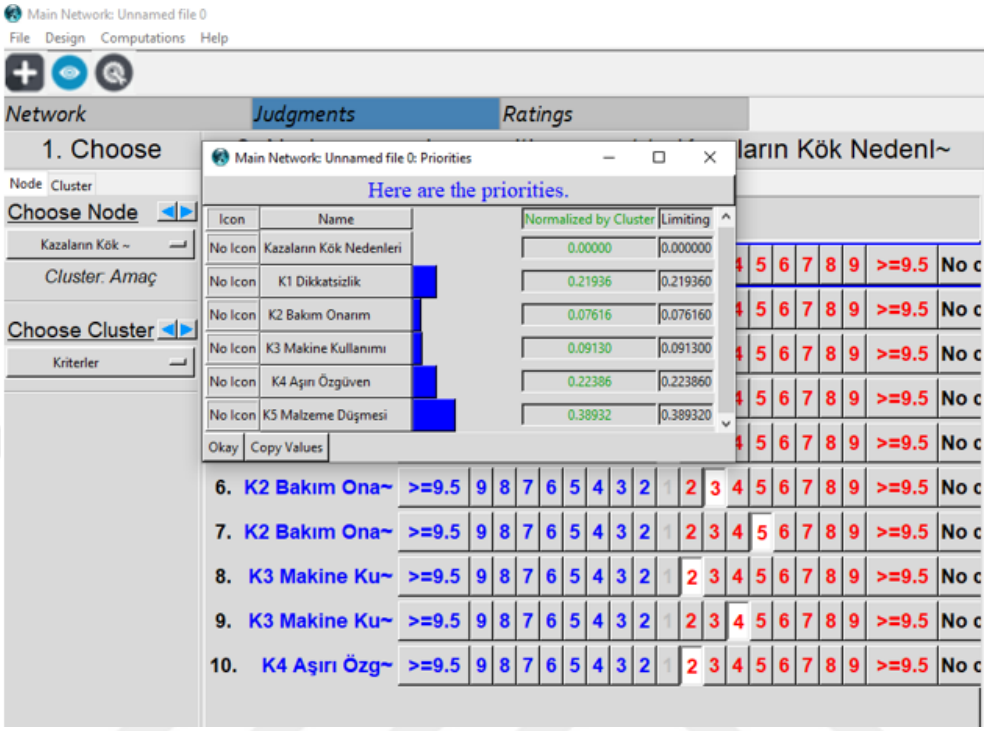
Tablonun kalan (alt) kısmı otomatik olarak program tarafından hesaplanmaktadır. Şekil 5.13'te kırmızı oklar 1 değerinin sağ tarafını, mavi oklar ise 1 değerinin sol tarafında verilen değerin daha önemli olduğunu ifade etmektedir.



Şekil 5.14. Ölçeklerin Karşılaştırılma Ekran Görünümü

Matrix kısmına katılımcılardan elde edilen verilerin girişi yapıldıktan sonra, Questionnaire (anket) kısmı tıklanır. Her bir kriterin bir diğer kritere karşı karşılaştırması yapılır.

Tüm kriterlerin karşılaştırılması yapıldıktan sonra Results (sonuç) kısmında Inconsistency: K5 Malzeme Düşmesi (0,38932), K4 Aşırı Özgüven (0,22386), K1 Dikkatsizlik (0,21936), K3 Makine Kullanımı (0,09130), K2 Bakım Onarım (0,07616) sonucuna ulaşılır. Ağırlıklandırmalara Computations butonunun altında Priorities (Ctrl+P) tıklanarak da çalışma sonucuna ulaşılabilmektedir (Şekil 5.15).



Şekil 5.15. Kriterlerin Nihai Ağırlıklandırılma Ekranı Görünümü

Micsoroft Excel ve Super Decision ANP Version 3.2.0 ile yapılan hesaplama sonucunda elde edilen sonuçlar tutarlı bulunmuştur. Buna göre elde edilen tüm öncelikler vektör hesabı dikkate alınarak çalışma yorumlanabilir. Bu kapsamda anketi cevaplayan katılımcıların vermiş olduğu cevaplar dikkate alındığında, işletmede iş kazalarının ortaya çıkmasına neden olan en önemli hususlar şu şekilde sıralanmıştır; K5 (Malzeme Düşmesi), bunu sırası ile K4 (Aşırı Özgüven), K1 (Dikkatsizlik), K3 (Makine Kullanımı) ve K2 (Bakım Onarım) takip etmiştir.

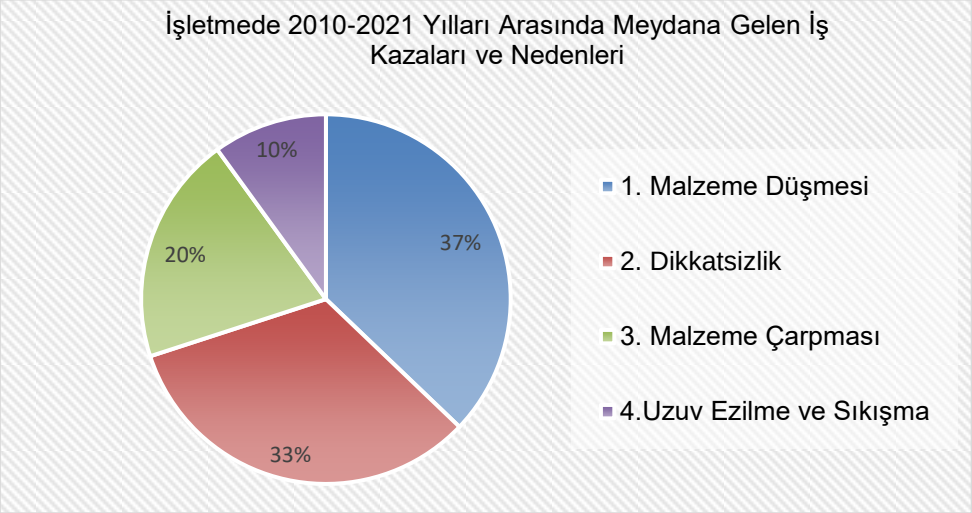
Çizelge 5.9'da yeraltı madencilik faaliyetlerinde kazaların uzmanlar tarafından belirtilen sıklıkları görülmektedir. Buna göre mevcut durum içinde çok sık karşılaşılan olaylar; ekipman yaralanması, kavlak düşmesi, fiziksel zorlanma ve düşmedir. Sık karşılaşılan olaylar; aracın operatöre çarpması ve çalışanın üzerine

malzeme düşmesidir. Çok seyrek karşılaşılan olaylar ise patlamaya maruz kalma, gaz-su baskını, seyrek yaşanan olaylar ise göçük ve kepçe devrilmesi olarak belirtilmiştir (Yaşlı, 2020). Tablo 5.9'da her ne kadar istenmeyen olayların yaşanma sıklığına denk gelen karşılık aynı sonucu göstersede; işletme yapısı, üretim yöntemleri (otomayon, tam mekanize, yarı mekanize vb.), çalışan sayısı, çalışan yetkinliği, işletme teknoloji alt yapısı vb. unsurlar dikkate alındığında bu durumun değişkenlik gösterebileceği düşünülmektedir.

Çizelge 5.9. Yeraltı Madencilik Faaliyetlerinde Kazaların Uzmanlar Tarafından Belirtilen Sıklıkları (Yaşlı, 2020)

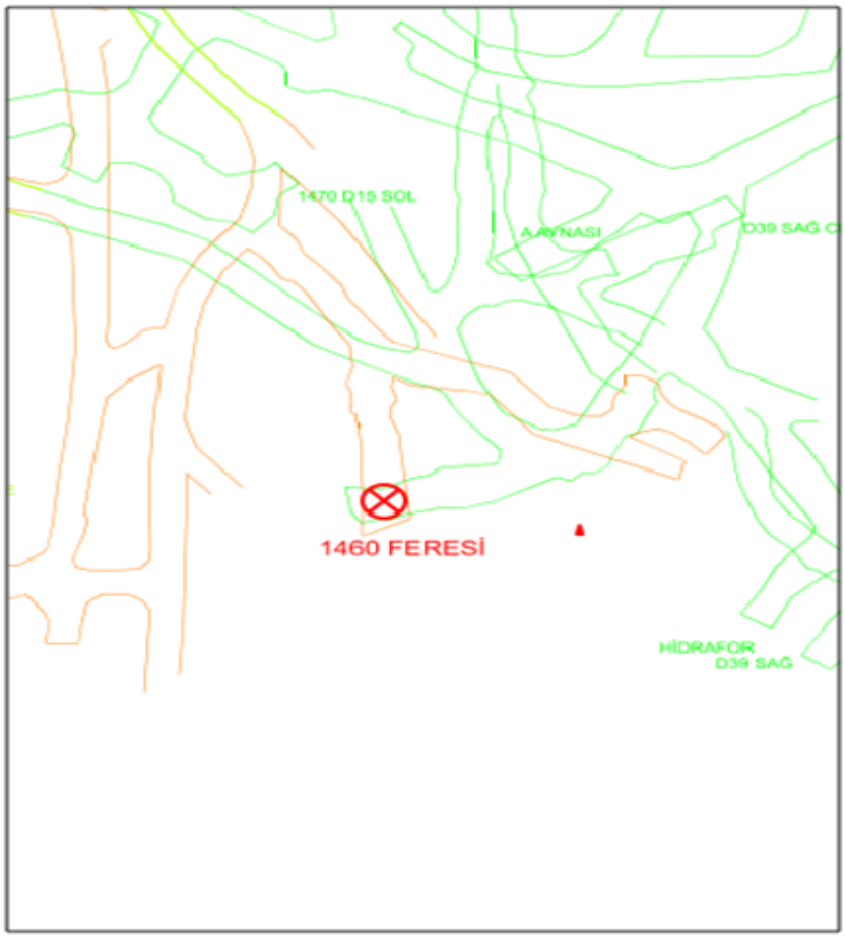
İstenmeyen Olay	Yaşanma Sıklığı	Karşılığı
Ekipman Yaralanması	Çok sık	Hemen hemen her gün bir çalışan maruz kalıyor.
Kavlak Düşmesi	Çok sık	Hemen hemen her gün bir çalışan maruz kalıyor.
Fiziksel Zorlanma	Çok sık	Hemen hemen her gün bir çalışan maruz kalıyor.
Düşme	Çok sık	Hemen hemen her gün bir çalışan maruz kalıyor.
Aracın Operatör Sebepli Çalışana Çarpması	Sık	Hemen hemen her gün bir çalışan maruz kalıyor.
Çalışanın Üzerine Malz. düşmesi	Sık	Hemen hemen her gün bir çalışan maruz kalıyor.
Patlamaya maruz kalma	Çok seyrek	Hemen hemen her gün bir çalışan maruz kalıyor.
Gaz sızıntısı -su baskını	Çok seyrek	Hemen hemen her gün bir çalışan maruz kalıyor.
Göçük	Seyrek	Hemen hemen her gün bir çalışan maruz kalıyor.
Kepçe devrilmesi	Seyrek	Hemen hemen her gün bir çalışan maruz kalıyor.

İşletmede 2010-2021 yılları arasında meydana gelen iş kazaları (Şekil 5.16) ve dağılımları ile AHP yönteminden elde edilen sonuçların büyük oranda benzerlik taşıdığı tespit edilmiştir.



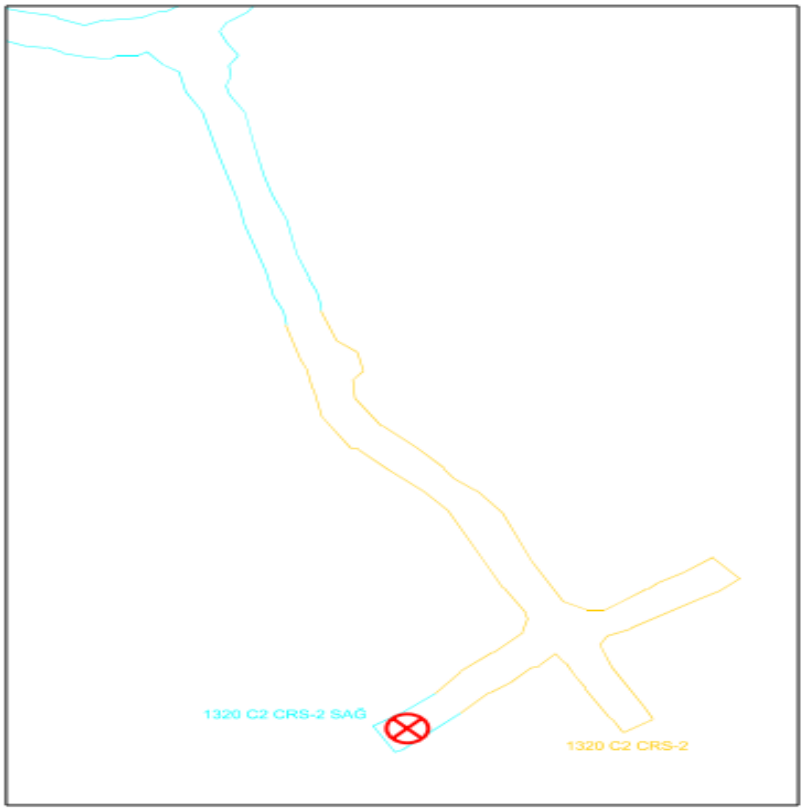
Şekil 5.16. İşletme 2010-2021 Yıllarına ait İş Kazaları

Çalışmanın yapıldığı işletmede 2010-2021 yılları arasında toplam 66 iş kazası yaşanmış (1 uzuv kaybı) ancak hiçbiri ölümle sonuçlanmamıştır. Kazalar ortaya çıkış nedenleri ayrıntılı şekilde incelendiğinde; malzeme düşmesi, uzuv sıkışması, malzeme çarpması, lastik patlaması, su borusu patlaması, mikser camının patlaması, yüksekten düşme, gaz kaçağı sonucu oluşan yanıklar, takılarak düşme, bakım onarım esnasında uzuv sıkışması gibi nedenler sonucunda yaşanmıştır. Aşağıda çalışmanın yapıldığı yeraltı tesisinde 2021 yılının son günlerinde yaşanan 1320-1460 nolu galerilerde meydana gelen iş kazalarının kat planları ve nedenlerine yer verilmiştir.



Şekil 5.17. 1460 Nolu Fere

Şekil 5.17'de 1460 nolu fereye cevherin boşaltımı esnasında yaşanan kazanın kat planı görülmektedir. Ana galerinin 600 m girişinde bulunan noktaya fereden cevher boşaltmaya çalışan kamyonun fere boşluğuna çok yaklaşması ve boşaltım yaptığı zeminin yumuşak olması nedeniyle araç 13 m'den aşağıya düşmüştür. Kazada herhangi bir can kaybı yaşanmaz iken maddi hasar meydana gelmiştir. Bu tür olayların tekrarlanmaması için malzeme dökülen noktanın zeminine beton dökülerek sağlamlaştırılmış ayrıca çalışanlar konu ile ilgili bilgilendirilmiştir.



Şekil 5.18. 1320 C2 CRS-2 Sağ Galerisi

Şekil 5.18'de 24.12.2021 tarihinde 1320 nolu aynanın delimi esnasında meydana gelen kazanın kat planı görülmektedir. Ayna deliminde çürütme deliklerinin (genişletme deliklerinin) açılması esnasında çalışanın aynayı işaretlemesi sonucu kavlak düşmüş ve bir çalışan hafif şekilde yaralanmıştır.

Bir iş kazasının meydana gelmesi sıraladığımız hususların dışında birçok nedene dayandırılabilir ve çoğaltılabilir. Çünkü bir işyerinde kazanın veya yaralanmalı olayların meydana gelmesinde, işyeri ekosistemi ve buna bağlı olarak ortaya çıkabilecek etkileşim, tehlikelerin risklere dönüşmesinde ana belirleyici unsur olarak gösterilebilir. Bu nedenle tehlike ve risk kavramının yaralanmaya veya ölümlü iş kazasına dönüşmesini tetikleyecek unsurların nedensellik bağının

iyi bir şekilde analiz edilmesi gerekebilir. Bu nedenle iş kazalarının ortaya çıkmasında; işyerlerinin organizasyon yapısı, işyeri iş güvenlik kültürü, çalışanların yetkinlikleri, üretim yöntemleri gibi birçok parametrenin belirleyici unsur olabileceği düşünülmektedir.

5.4. Endüstri 4.0 ile İlgili Çalışanlara Yapılan Anket Çalışmasının Değerlendirilmesi

Çalışmanın yapıldığı işletmede çalışanların Endüstri 4.0'a yönelik farkındalıklarını belirlemek amacıyla yapılan anket araştırmasının sonuçları tablolar halinde araştırmanın devamında yer almaktadır. Katılımcıların demografik bilgileri, Endüstri 4.0'a yönelik farkındalık seviyeleri, meslek hayatları boyunca uğramış oldukları iş kazaları ve meslek hastalıkları gibi bulgular da yer almaktadır.

Çizelge 5.10. Çalışanların Demografik Bilgileri

Katılımcıların Demografik Bilgileri					
Cinsiyet	**Sayı (n)**	**Yüzde**	**Medeni Durum**	**Sayı (n)**	**Yüzde**
Erkek	160	100	Evli	106	66,3
Kadın	0	0	Bekar	54	33,7
Toplam	**160**	**100**	**Toplam**	**160**	**100**
Yaş	**Sayı (n)**	**Yüzde**	**Çocuk Sayısı**	**Sayı (n)**	**Yüzde**
16-18 yaş arası	1	0,6	Yok	60	37,5
19-23 yaş arası	5	3,1	1-3 arası çocuk	93	58,1
24-28 yaş arası	30	18,8	4 çocuk ve üzeri	7	4,4
29-33 yaş arası	50	31,3	**Toplam**	**160**	**100**
34-38 yaş arası	34	21,3			
39-43 yaş arası	28	17,5			
44-48 yaş arası	10	6,2			
49 yaş ve üzeri	2	1,2			
Toplam	**160**	**100**			

Çizelge 5.10'da göre katılımcıların, %31,3'ü 29-33 yaş aralığında, %21,3'ü 24-38 yaş aralığında, %18,8'i 24-28 yaş aralığında, %17,5'i 39-43 yaş aralığında,

%6,2'si 44-48 yaş aralığında, %3,1'i 19-23 yaş aralığında, %1,2'si 49 yaş ve üzeri, %0,6'sının ise 16-18 yaş aralığında olduğu tespit edilmiştir. Araştırmaya katılanların %66,3'ü evli olduğunu, %33,7'si ise bekâr olduğunu, %58,1'i 1-3 arası çocuk sahibi olduğunu, %37,5'i çocuk sahibi olmadığını, %4,4'ü ise 4 ve üzeri çocuk sahibi olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 5.11. Katılımcıların Eşlerinin Çalışıp Çalışmadığı, Eğitim Durumları ve Mesleklerini Yapma Sürelerine ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
Çalışanların Eşlerinin Çalışma Durumu		
Evet	29	18,1
Hayır	131	81,9
Toplam	**160**	**100**
Çalışanların Eğitim Düzeyi		
İlköğretim	12	7,5
Ortaöğretim	82	51,3
Ön Lisans	21	13,1
Lisans	41	25,6
Yüksek Lisans	4	2,5
Doktora	0	0
Toplam	**160**	**100**
Çalışanların Meslekte Geçirdiği Süre		
1-5 yıl	73	45,6
6-10 yıl	55	34,4
11-15 yıl	28	17,5
16-20 yıl	3	1,9
21 yıl ve üzeri	1	0,6
Toplam	**160**	**100**

Çizelge 5.11'de katılımcılara eşlerinin çalışıp çalışmadığı sorulmuş, %81,9'u eşinin çalıştığını, %18,1'i ise çalışmadığını belirtmiştir. Katılımcılar eğitim durumları ile ilgili soruya, %51,3'ü ortaöğretim, %25,6'sı lisans, %13,1'i önlisans, %7,5'i ilköğretim, %2,5'inin ise yüksek lisans mezunu olduğunu belirtmiştir. Katılımcılara mesleklerinde geçirdikleri süre ile ilgili soruya, %45,6'sı

1-5 yıl arası, %34,4'ü 6-10 yıl arası, %17,5'i 11-15 yıl arası, %1,9'u 16-20 yıl arası, %0,6'sı ise 21 yıl ve üzeri çalıştığını belirtmiştir.

Çizelge 5.12. Katılımcıların İşyerindeki Pozisyonları ve Farklı Meslek Alanlarında Çalışmalarına ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
Çalışılanların Pozisyonları		
İşçi	107	66,9
Çavuş	7	4,3
Formen	3	1,9
Mühendis	26	16,2
Teknik eleman	14	8,8
İş Güvenliği Uzmanı	2	1,3
Diğer	1	0,6
Toplam	**160**	**100**
Farklı Alanlarda Mesleki Tecrübe		
Evet	68	42,5
Hayır	92	57,5
Toplam	**160**	**100**

Çizelge 5.12'de katılımcılar çalıştıkları pozisyon ile ilgili soruya, %66,9'u işçi, %16,2'si mühendis, %8,8'i teknik eleman, %4,3'ü çavuş, %1,3'ü iş güvenliği uzmanı, %0,6'sının ise diğer işlerde çalıştığını belirtmiştir. Katılımcılara daha önce farklı meslek alanlarında çalışıp çalışmadıkları sorulmuş, %57,5'i çalışmadığını, %42,5'i ise çalıştığını belirtmiştir.

Çizelge 5.13. Çalışanların Yapmakta Oldukları İşin Yapısı Gereği Ne Tür Riskler Barındırdığına ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
Risk Hakkında Bilgi		
Evet	146	91,3
Hayır	5	3,1
Fikrim yok	9	5,6
Toplam	**160**	**100**

Çizelge 5.13'te katılımcıların yapmakta oldukları işin yapısı gereği ne tür riskler barındırdığı hakkında bilgilerinin olup olmadığı sorulmuş, %93,3'ü evet cevabını verirken, %5,6'sı fikrinin olmadığını, %3,1'i ise hayır cevabını vermiştir.

Çizelge 5.14. Çalışanların İş Kazası ve Meslek Hastalığı Hakkında Bilgilerinin Olup Olmadığına ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
İş Kazası ve Meslek Hastalığı Bilgisi		
Evet	134	83,8
Hayır	26	16,2
Toplam	**160**	**100**

Çizelge 5.14'te katılımcılara iş kazası ve meslek hastalığı ile ilgili bilgilerinin olup olmadığı sorusuna, %83,8'i bilgisinin olduğunu, %16,3'ü ise bilgisinin olmadığını belirtmiştir. Elde edilen bulgu sonucunda katılımcıların büyük çoğunluğunun iş kazası ve meslek hastalıkları hakkında bilgisinin olduğu sonucuna ulaşılmıştır. İşletmede periyodik olarak eğitimlerin verildiği bilinmektedir. Ancak yapılan araştırma sonucunda iş kazası ve meslek hastalıkları konusunda bilgisi olmayan çalışanların sayısının yadsınamayacak oranda olduğu düşünülmektedir. Ayrıca çalışmada katılımcıların ne derecede bilgi sahibi oldukları sorgulanamadığı için objektif sonuçlara ulaşılamamıştır.

Çizelge 5.15. Çalışanların Mevcut İşyerlerinde ve İş Hayatında İş Kazası Geçirip Geçirmediğine ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
Mevcut İşletmede İş Kazası		
Evet	39	24,4
Hayır	121	75,6
Toplam	**160**	**100**
Meslek Hayatında İş Kazası		
Evet	43	26, 9
Hayır	117	73,1
Toplam	**160**	**100**

Çizelge 5.15'te katılımcılara çalışmakta oldukları işyerinde iş kazası geçirip geçirmediği sorulmuş, %73,1'i iş kazası geçirmediğini, %24'ü ise iş kazası geçirdiğini belirtirken, iş hayatında hiç iş kazası geçirip geçirmedikleri sorulduğunda ise, %73,1'i geçirmediğini, %26,9'u ise iş kazası geçirdiğini belirtmiştir.

Çizelge 5.16. Çalışanların İş Hayatlarında Meslek Hastalığı Geçirip Geçirmediğine ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
İş Hayatında Meslek Hastalığı		
Evet	9	5,6
Hayır	151	94,4
Toplam	**160**	**100**

Çizelge 5.16'da katılımcılara iş hayatında meslek hastalığı geçirip geçirmediği ile ilgili soruya, %94,4'ü geçirmediğini, %5,6'sı ise meslek hastalığı geçirdiğini belirtmiştir. Elde edilen bulgu sonucu araştırmaya katılan çalışanların büyük çoğunluğunun iş hayatında hiç meslek hastalığı geçirmediği tespit edilmiştir. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) verilerine göre meslek hastalığı sonucu sürekli iş göremezlik geliri bağlanan sigortalı çalışan sayısı 2015 yılında 88, 2015 yılında 163, 2016 yılında ise 197 (MMO, 2018) dir. Dünya genelinde meslek hastalıklarının oranının binde 4 ile 12 arasında olduğu bilinmektedir. 2013 yılında ILO, meslek hastalıklarının dünyada en yaygın gizli salgın olduğunu belirtmiştir. Her yıl dünyada binlerce çalışan meslek hastalığına yakalanmaktadır. Türkiye'deki meslek hastalığı oranının beklenin oldukça altında kalması meslek hastalıklarının bildirim ve düzenli kayıtlarının tutulup tutulmadığını akıllara getirmektedir (Keçeci, 2019).

Çizelge 5.17. Çalışanların İşyerinde Ramak Kala Olayına Tanık Olup Olmadığına ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
Ramak Kala Olayına ait Bilgiler		
Evet	94	58,8
Hayır	66	41,2
Toplam	**160**	**100**

Çizelge 5.17'de çalışma ortamında meydana gelen ancak çalışana işletmeye veya çevreye zarar vermeyen olaylara ramak kala olay denir. Katılımcılara işyerlerinde hiç ramak kala olayına tanık olup olmadıkları sorulmuş, %58,8'i tanık olduğunu, %41,3'ü ise tanık olmadığını belirtmiştir.

Çizelge 5.18. İş Kazasının Ortaya Çıkmasına Neden Olan En Önemli Husus/Hususlara ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı(n:160)**	**Yüzde (%)**
İş Kazasının Nedenleri		
Çalışanların özgüvenlerinin yüksek olması	103	64,4
Çalışanların işbaşı eğitiminin verilmeyişi	48	30
Çalışanların yetersiz olması ve işe uygun seçilmeyişi	67	41,8
Çalışanların yaptıkları işlerin tehlikelerinden haberdar olmayışı	56	35
Çalışanların gerekli kişisel koruyucu donanımı temin edilmemesi	18	11.25

Çizelge 5.18'de katılımcılara iş kazasının ortaya çıkmasına neden olan hususların neler olabileceği (çoktan seçmeli) sorulmuş, %64,4'ü çalışanların özgüvenlerinin yüksek olmasından kaynaklandığını belirtmiştir. Camkurt (2013) tarafından yapılan araştırmaya göre, gereksiz özgüvene sahip çalışanların yaptıkları işlerde yeterli dikkat ve özeni göstermedikleri tespit edilmiş ve bu durumun iş kazalarına neden olabileceğini öngörmüştür. Katılımcıların %41,8'i çalışanların yetersiz olması ve işe uygun seçilmemesi, %35'i çalışanların yaptıkları işlerin tehlikelerinden haberdar olmayışı, %30'u çalışanlara işbaşı eğitimi verilmemesi,

%11,3'ü ise çalışanlara gerekli kişisel koruyucu donanım temin edilmemesinden kaynaklandığını belirtmiştir.

Çizelge 5.19. Çalışanların Bilişim Teknolojilerine Yönelik Bilgi Düzeylerine ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
Çalışanların Bilgi Düzeyleri		
Çok düşük	16	10
Düşük	16	10
Orta	69	43,1
İyi	41	25,6
Çok iyi	18	11,3
Toplam	**160**	**100**

Çizelge 5.19'da çalışanlara bilişim teknolojilerine yönelik bilgi düzeyleri sorulmuş, %43,1'i orta, %25,6'sı iyi, %11,3'ü çok iyi, %10'u düşük, %10'u ise çok düşük düzeyde olduğunu belirtmiştir. Elde edilen bulgu sonucunda katılımcıların yarıya yakınının bilgi teknolojilerine yönelik bilgi düzeyinin orta düzeyde olduğu sonucuna ulaşılmıştır. Banger (2016) Endüstri 4.0 ve getireceği teknolojik uygulamaların önündeki en büyük engelin bilişim ve iletişim gibi alanlarda nitelikli işgücü eksikliği olacağı tespitinde bulunmuştu. Bir diğer araştırmaya göre ise (IAB, 2016) dijitalleşmeyi temel alan bir iş modelinin oluşturulabilmesi (yüksek kaliteli işlerin yaratılması) işveren ve yetkin personel gereksiniminin karşılanması ile sağlanabileceği belirtilmiştir.

Çizelge 5.20. Çalışanların İşyerlerinde Otomasyon Sistemlerin Entegrasyonu Hakkında Bilgi Sahibi Olup Olmadıklarına ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
Entegrasyon Hakkında Bilgi		
Evet	116	72,5
Hayır	44	27,5
Toplam	**160**	**100**

Çizelge 5.20'de çalışanlara işyerinde otomasyon ekipmanların ve bunların birbirleri ile ilgili entegrasyonu hakkında bilgilerinin olup olmadığı ile ilgili soruya, %72,5'i bilgisi olduğunu, %27,5'i ise bilgisinin olmadığını belirtmiştir. Elde edilen veriler ışığında araştırmaya katılan çalışanların büyük çoğunluğunun otomasyon ekipmanlar ve bunların birbirleri ile entegrasyonu hakkında bilgisinin olduğu tespit edilmiştir.

Çizelge 5.21. Çalışanlara Mevcut İşyerlerinde Endüstri 4.0 Farkındalık Eğitimlerinin Verilip Verilmediğine ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
Eğitim Alıp Almadıkları		
Evet	55	34,4
Hayır	105	65,6
Toplam	**160**	**100**

Çizelge 5.21'de çalışanlara işyerinde Endüstri 4.0 kapsamında farkındalık eğitimi verilip verilmediği sorulmuş, %65,6'sı eğitim verilmediğini, %34,4'ü ise farkındalık eğitiminin verildiğini belirtmiştir. Elde edilen bulgudan da görüldüğü üzere katılımcıların yarısından fazlasının Endüstri 4.0 hakkında farkındalık eğitimi almadığı tespit edilmiştir.

Çizelge 5.22. Çalışanların Endüstri 4.0 Hakkında Bilgi Sahibi Olup Olmadıklarına ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
Bilgilerinin Olup Olmadığı		
Evet	75	46,9
Hayır	85	53,1
Toplam	**160**	**100**

Endüstri 4.0, bilişim ve iletişim teknolojilerini endüstrinin her alanına entegre edilerek üretimin dijital hale gelmesidir. Katılımcılara Endüstri 4.0 hakkında bilgilerinin olup olmadığı sorulmuş, %53,1'i bilgisinin olmadığını, %46,9'u ise bilgisinin olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 5.23. Endüstri 4.0 yada Otonom Sistemlere Geçişte Yaşanabilecek En Önemli Sorunlara ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı(n:160)**	**Yüzde (%)**
En Önemli Sorunlar		
Mevcut yönetimin yeterli görülmemesi	49	30,6
Geleneksel üretim yöntemlerinin tercih edilmesi	74	46,3
İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olması	34	21,3
Yatırım maliyetlerinin yüksek olması	83	51,9
Konunun uzmanı personel bulunmasında yaşanan zorluklar	60	37,5
İşyeri yönetiminin destek vermemesi	28	17,5

Çizelge 5.23'te katılımcılara Endüstri 4.0 yada otonom sistemlere geçişte yaşanabilecek en önemli sorunların neler olabileceği (çoktan seçmeli) sorulmuş, katılımcıların %51,9'u yatırım maliyetlerinin yüksek olduğunu, %46,3'ü geleneksel üretim yöntemlerinin tercih edildiğini, %37,5'i konunun uzmanı personel bulunmasında zorluk yaşandığını, %30,6'sı mevcut yönetimin yeterli görülmediğini, %21,3'ü ilk yatırım maliyetlerinin yüksek olduğunu, %17,5'i ise işyeri yönetiminin destek vermediğini belirtmiştir. Yüksel (2019) tarafından yapılmış bir araştırmaya göre, Endüstri 4.0 teknolojileri için işletmelerin uzun vadede önemli yatırımlar yapmaları gerekmektedir. Türkiye'de ve Dünya çapında Endüstri 4.0 ile ilgili yapılmış araştırmalar sonucunda bu süreçte yaşanması beklenen en önemli güçlüğün finansman ve ekonomik kaynaklı olması beklenmektedir. Bu nedenle her işletmenin yatırım öncesinde mevcut durum analiz çalışması yapması önerilmektedir.

Yapılan yatırımlardan olumlu geri dönüşler alındıkça işletmelerin gelecekte yapmayı planladıkları yatırımlar için daha istekli olacakları öngörülmektedir.

Çizelge 5.24. Çalışanların İşyerlerinde Endüstri 4.0 Kapsamında Hazırlanmış İş Planı Hakkında Bilgilerinin Olup Olmadığına ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
İş Planının Olup Olmadığı		
Evet	65	40,7
Hayır	66	41,3
Kısa vadede hayata geçirilmesi planlanmakta	29	18
Toplam	**160**	**100**

Çizelge 5.24'te çalışanlara işyerinde Endüstri 4.0 kapsamında hazırlanmış bir iş planı olup olmadığı ile ilgili soruya, %41,3'ü bilgisinin olmadığını, %40,6'sı bilgi sahibi olduğunu, %18'i ise kısa vadede hayata geçirilmesinin planlanmakta olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 5.25. İşyerinde Endüstri 4.0 Güncel Teknolojik Ekipmanları Kullanabilecek Yetkinliğe Sahip Teknik Personel Olup Olmadığına ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
Yetkin Personel		
Evet	69	43,2
Hayır	50	31,2
Kısmen var	41	25,6
Toplam	**160**	**100**

Çizelge 5.25'te çalışanlara işyerinde Endüstri 4.0 güncel teknolojik ekipmanları kullanabilecek yetkinliğe sahip teknik personelin bulunup bulunmadığı sorulmuş, %43,2'si bulunduğunu, %31,2'si bulunmadığını, %25,6'sı ise kısmen bulunduğunu belirtmiştir. BDC tarafından 2017 yılında Kanada'da yapılan bir

araştırmaya göre, Endüstri 4.0 uygulamalarında en çok karşılaşılan güçlüğün %42'lik bir oranla nitelikli çalışan eksikliğinden kaynaklandığı tespit edilmiştir (BDC, 2017). Bu nedenle en önemli husus olarak işgücü piyasasının kısa ve uzun vadede ihtiyaçlarını karşılayabilmesi, mevcut işgücü yetkinliklerinin artırılması ve nitelikli yeni işgücü profilinin geliştirilmesi ile sağlanması öngörülmektedir (Doğru ve Meçik, 2018).

Çizelge 5.26. Endüstri 4.0 Uygulamaların Avantajlarına ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı(n:160)**	**Yüzde (%)**
Endüstri 4.0'ın Avantajları		
Üretim hızında artış sağlar	92	57,5
Üretim kalitesinde artış sağlar	74	46,25
İş Sağlığı ve güvenliğini sağlar	110	68,75
Ekonomik kazanç sağlar	61	38,125
İstihdamda artış yaşanır	24	15

Çizelge 5.26'da Katılımcılara Endüstri 4.0 uygulamalarının sağlayacağı avantajların neler olabileceği (çoktan seçmeli) sorulmuş, %68,8'i iş sağlığı ve güvenliği sağlar, %57,5'i üretim hızında artış sağlar, %46,3'ü üretim kalitesinde artış sağlar %38,1'i ekonomik kazanç sağlar, %15'i ise istihdam da artış yaşanır şeklinde görüş bildirmiştir. Kagerman ve ark., (2013)'nın yapmış oldukları bir çalışmaya göre, işyerlerine uyumlu makine ve entegre sistemlerin, çalışan rollerini, iş yapma şekillerini ve çalışan güvenliği alanındaki endişelerini de en aza indirmesi beklenmektedir. Endüstri 4.0'ın kaçınılmaz hale geldiği günümüz dünyasında, Endüstri 4.0'ın seri üretimi hızlandırması, üretim maliyetlerini minimize etmesi, özellikle de işçi sağlığı ve güvenliğinin sağlanmasında ciddi gelişmeler yaratması bu sürecin ekonomik anlamda en önemli ve olumlu gelişmelerindendir (Dikkaya ve Aytekin, 2018). Örneğin, otonom organizasyonu, dinamik yönlendirme, kapsamlı

bağlantılar ve büyük veri gibi ileri otomasyon süreçlerin (Doğru ve Meçik,2018) organizasyonu bu kişilerin gözetimi ile yapılacaktır.

Çizelge 5.27. Endüstri 4.0 Uygulamaların Dezavantajlarına ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
Endüstri 4.0'ın Dezavantajlar		
İşsizlikte artış yaşanır	97	60,6
Enerji tüketiminde artış yaşanır	86	53,8
İş kazalarında ve meslek hastalıklarında artış yaşanır	43	26,9
Tükenebilir enerji kaynaklarına olan talepte artış yaşanır	73	45,6

Çizelge 5.27'de katılımcılara Endüstri 4.0 uygulamalarının dezavantajları olup olmadığı (çoktan seçmeli) sorulmuş, %60,6'sı işsizlikte artış yaşanacağını belirtmiştir. Erdinç (1999) yapmış olduğu çalışmada, yüksek teknolojinin getirmiş olduğu otomasyon ve bunun sanayide kullanılmasının işsizlikte artış yaşanmasına etken olduğunu belirtmiştir. Katılımcıların %53,8'i enerji tüketiminde artış yaşanacağını belirtirken %45,6'sı ise tükenebilir enerji kaynaklarına olan talepte artış yaşanacağını belirtmiştir. Toker (2018) yapmış olduğu çalışmada, Endüstri 4.0 ile üretim süreçlerinde fosil yakıtların daha az kullanılacağını, bunun yerine biyo-enerjinin ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının giderek daha fazla önem kazanacağını belirtmiştir. Katılımcıların %26,9'u iş kazalarında ve meslek hastalıklarında artış yaşanır şeklinde cevap vermiştir. Bazı katılımcılar bu uygulamaların (fanlar, otonom kapılar, gaz takip sistemi vb.) sık sık sistemsel arızası verdiğini ve bu nedenle sık sık manuel olarak müdahale bulunmak zorunda kaldıklarını belirtmişlerdir.

Çizelge 5.28. Endüstri 4.0 veya Güncel Teknolojik Uygulamaların Üretim Süreçlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Açısından Risk Oluşturup Oluşturmadığına ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
Endüstri 4.0'ın Risk İçerip İçermediği		
Evet	23	14,4
Hayır	96	60
Kısmen	41	25,6
Toplam	**160**	**100**

Çizelge 5.28'de katılımcılara Endüstri 4.0 veya güncel teknolojik uygulamaların üretim süreçlerinde iş sağlığı ve güvenliği açısından risk oluşturup oluşturmadığı sorulmuş, %60'ı risk oluşturmadığını, %25,6'sı kısmen risk oluşturduğunu, %14,4'ü ise risk oluşturduğunu belirtmiştir.

Çizelge 5.29. Endüstri 4.0 ve Otomasyon Sistemine Geçişte Yaşanabilecek İş Sağlığı ve Güvenliği Sorunların Kaynaklarına ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
Sorunların Kaynakları		
Çalışanların eğitimsizliği	93	58,1
Çalışanların deneyimsizliği	100	62,5
Kullanılan ekipmanların karmaşık yapıda olması	67	41,9
Uyarıcı sensörlerin yetersizliği	41	25,6
Bakım ve onarımda yaşanan aksaklıklar	69	43,1
Tepe yönetimin ilgisizliği	27	16,9
Toplam	**160**	**100**

Çizelge 5.29'da katılımcılara Endüstri 4.0 ve otomasyon sisteme geçişte yaşanabilecek iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili sorunların kaynaklarının neler olabileceği (çoktan seçmeli) sorulmuş, %62,5'i çalışanların deneyimsizliği, %58,1'i çalışanların eğitimsizliği, %43,1'i bakım ve onarımda yaşanan aksaklıklar, %41,9'u kullanılan ekipmanların karmaşık yapıda olması, %25,6'sı uyarıcı sensörlerin yetersizliği, %16,9'u ise tepe yönetimin ilgisizliğinden dolayı olduğunu

belirtmiştir. Bazı katılımcılar uygulamaların sık sık arıza verdiğini bu durumun üretim sürecinde çalışan sağlığı ve güvenliğini riske attığını belirtmiştir. Yapılan bir araştırmaya göre, yaşanmakta olan endüstriyel dönüşüm, iş ortamlarını ve iş profillerini değiştirmekte, daha birikimli, yeniliğe ayak uydurabilen işgücünü zorunlu kılmaktadır (Prifti ve ark., 2017; Liere-Netheler ve ark., 2017). Teknolojik işgücü yetkinliğinin yetersiz kaldığı durumlarda yardımcı bazı uygulamalar hayata geçirilebilir. Örneğin, maden gibi çok tehlikeli koşullarda çalışan kişilerin kendilerinin fiziksel durumları hakkında gerekli birimlere bilgi aktaran sensörler ile donatılmış IoT tabanlı giyilebilir teknolojilerin kullanılması ve buna ek olarak da akıllı mobil cihazlara entegre edilmesiyle (Dijital Dönüşüm ve Madencilik, 2019) işyerleri çalışanlar için daha güvenli hale getirebilir. 2017 yılında Stanton Chase tarafından dünya genelinde yapılan bir araştırmaya göre, Endüstri 4.0 ile işletme yöneticilerinin yeni sürecin öneminin farkında olmalarına rağmen riske girmekten kaçındıkları belirlenmiştir. Bu durumun en önemli nedeni, yatırımların getireceği faydanın net olarak öngörülemeyişi ve kazançların sayısal bir değer olarak ortaya konulamamasıdır (Stanton Chase, 2017; Banger, 2018).

Çizelge 5.30. Endüstri 4.0 Kapsamında Üretim Sürecine Dahil Olan Ekipmanların Tehlike Boyutuna ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
Ekipmanların Tehlike Boyutları		
Güvenli	84	52,4
Çok güvenli	35	21,9
Tehlikeli	8	5
Çok tehlikeli	2	1,3
Fikrim yok	31	19,4
Toplam	**160**	**100**

Çizelge 5.30'da Endüstri 4.0 kapsamında üretim sürecine dahil olan ekipmanların (otomatik kapılar, fanların kontrolü, uzaktan kumandalı sistemler vb.) çalışan, işletme ve çevre açısından tehlike boyutu ile ilgili soruya, katılımcıların

%52,5'i güvenli, %21,9'u çok güvenli, %19,4' fikrim yok, %5 tehlikeli, %1,3'ü ise çok tehlikeli olduğunu belirtmiştir.

Çizelge 5.31. Endüstri 4.0'ın Üretim Sürecinde İş Güvenliğine ait Bilgiler

Değişkenler	**Sayı (n)**	**Yüzde (%)**
Üretim Sürecinde Güvenilirliği		
İş Güvenliğine etkisi yoktur	8	5
İş Güvenliğini arttırır	115	71,9
Fikrim yok	37	23,1
Toplam	160	**100**

Çizelge 5.31'de katılımcılara Endüstri 4.0'ın üretim sürecinde iş güvenliğine etkisi sorulmuş, %71,9'u iş güvenliğini artırdığını belirtirken, %23,1'i hiçbir fikir belirtmemiş, %5'i ise iş güvenliğine etkisinin olmadığı yönünde fikir beyan etmiştir.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Endüstri 4.0/Dördüncü Sanayi Devrimi, sanayileşme yolunda atılan ve geçmişte yaşanmış sanayi devrimlerinin son ayağını temsil etmektedir. Madenler, endüstriyel sanayinin gelişmesinde, sosyal ve ekonomik yapının evrilmesinde her zaman stratejik öneme sahip olmuştur. Madencilik sektörü çalışma ortamı ve çalışma koşulları bakımından zorlu ve bir o kadar tehlikelidir. Faaliyet alanları çoğu kez yerleşim birimlerinden uzak ve zorlu doğa koşulları ile başa çıkmayı gerektirir. Cevherin çıkarılmasından nihai ürüne dönüşmesine kadar geçen süreçte öngörülemeyen birçok durum söz konusudur. Üretim yöntemi, kullanılan teknolojiler, çalışan yetkinliği, çalışma ortamından kaynaklanan riskler işletmelerin üretim verimliğini etkileyen önemli unsurlardan bazılarıdır. Madencilik sektöründe bu tür sorunların en aza indirilmesi günümüzde sıkça bahsedilen Endüstri 4.0 ve getirmiş olduğu teknolojiler ile daha kontrol edilebilir hale gelmeye başlamıştır. Başlangıçta zorlu ve tehlikeli olan madencilik sektörü günümüzde kullanılan teknolojiler sayesinde çok daha güvenli hale gelmeye başlamıştır.

Günümüzde işletmelerin büyük çoğunluğu emek gücü yerine otomasyon sistemler, tam mekanize sistemler, robotlar gibi teknolojileri üretim süreçlerine entegre ederek küresel rekabet koşullarında avantaj sağlamayı hedeflemektedir. Bu tez çalışmasında Endüstri 4.0 kapsamında kullanılan teknolojik uygulamaların iş güvenliğine olan etkileri araştırılmıştır. Üç aşamada gerçekleşen çalışmanın, birinci aşamasında işletmede kullanılan ve Endüstri 4.0 kapsamında olduğu değerlendirilen makine ve ekipmanlar incelenmiştir. İkinci aşamada işletmede meydana gelen iş kazalarının kök nedenlerinin tespit edilmesi amacıyla AHP yöntemi kullanılmıştır. Üçüncü aşamada ise çalışanların Endüstri 4.0 kapsamında farkındalıklarını ölçmeye yönelik çoktan seçmeli betimleyici bir anket çalışması uygulanmıştır.

İşletme, Endüstri 4.0 kapsamındaki teknolojileri 2015 yılı sonrasında periyodik olarak hayata geçirmeye başlamıştır. Göz tarama sistemi, taşınabilir kişisel koruyucu donanımlar, otomasyon makine-ekipmanlar ve gerçek zamanlı takip sistemi Endüstri 4.0'ın getirmiş olduğu ileri teknolojilerden bazıları olup işletmede kullanılmaktadır. Bu teknolojilerin çalışan sağlığı ve güvenliği ile doğrudan ilişkisi bulunmaktadır. İş süreçlerinde ve endüstriyel sanayide ileri teknolojilerin işgücü ile ikame edilmesiyle; çok tehlikeli ve riski net olarak tespit edilemeyen noktaların uzaktan ve gerçek zamanlı takibi bu sistemler ile sağlanabilmektedir. Yapılan tez çalışması kapsamında bu teknolojilerin iş güvenliğine etkileri araştırılmış ve aşağıdaki sonuçlara ulaşılmıştır.

Gerçek zamanlı takip sistemi (RTLS) çalışanların, ortamın ve nesnelerin gerçek zamanlı takibini yapabilen okuyucu tabanlı sistemlerdir. RTLS tehlikeli ve yüksek risk içeren lokasyonlara entegre edilerek hızlı ve anlık veri akışı sağlanabilir. Örneğin bu sistemin yeraltı ocağına entegre edilmesiyle yeraltı maden takibi ve görünürlük analizi, maden çalışanlarının takibi ve güvenliği, maden araçlarının takibi ve performansı, enerji ve çevre yönetimi, ihtiyaç duyulması durumunda havalandırma sistemi etkinleştirilebilmektedir. Ocak içi iletişim fiber optik kablolar ile kablolu ve kablosuz şekilde sağlanmaktadır. Yeraltı madencilik faaliyetleri kısıtlı ve dar alanlarda yapılmaktadır. Araçların sınırlı alanlarda manevra yapmaları, atım esnasında oluşan yüksek basınç, kavlak düşmesi vb. durumlarda enerji ve iletişim hatlarına zarar verebilmektedir. Bu gibi durumlara karşı, hat güzergahı boyunca yeterli aydınlatılmanın sağlanması, uyarı levhalarının konulması ve daha güvenli noktalarda muhafaza edilmesi oluşabilecek zararı en aza indirebilir.

Çalışmanın yapıldığı işletmede toplamda 14 hava kapısı bulunmaktadır. Hava kapıları elektrik ile çalışmaktadır. Kapıların 2 tanesi 2017 yılında, 3 tanesi ise 2019 yılında kurulmuştur. Kalan 9 tanesi ise manuel kapılar olup 2010 yılından günümüze kadar kullanılmaktadır. Hava kapıları, ocak içindeki temiz havayı

yönlendirmek amacıyla kurulmuştur. Böylelikle kirli havanın temiz havaya karışması engellenerek, temiz havanın doğrudan üretim alanlarına iletilmesi ve galerilerde çalışanların temiz hava ile buluşması sağlanmaktadır. Kapıları besleyen enerji hatlarında kesinti yaşanması durumunda jeneratörün (880 KW'lık jeneratör ve yaklaşık 350 Amper) devreye girmesi yaklaşık 60 s'dir. Bu gibi durumlarda kapıların pasif durumdan aktif duruma geçmesi için sistemin operatörce resetlenmesi gerekmektedir. Kapıların aktif duruma geçmesi için gerekli olan süre minimum düzeyde tutulması ocak güvenliği için son derece önemlidir. Aksi taktirde ocakta bulunan temiz hava kalitesinin düşmesi kaçınılmazdır. Bu tür riskli durumlar için ocak içinde faaliyet gösteren her çalışanın kapıların manuel çalışma prensibi hakkında bilgilendirilmesi sağlanmalıdır. Hava kapıları ocak içinde faaliyet gösteren her araca tanımlanmıştır. Ancak iki aracın kapı giriş ve çıkışında bulunması durumunda sistem aktif durumdan pasif duruma geçmektedir. Sistemin tekrar aktif hale gelmesi için iki aracın sensör algılama noktasından çıkması gerekmektedir. Hava kapılarından bir tanesinin açık kalması veya manuel olarak açılması durumunda sistem resetlenmeden araç geçişine izin vermektedir. Sensör tarafından algılanmayan araç diğer hava kapısının sensörüne yaklaştığında sistem aktif durumdan pasif duruma geçmektedir. Bu gibi durumlarda aracın turu tamamlaması (kapalı olan kapının manuel açılması sağlanarak) veyahut açık olan hava kapısının giriş kısmına geri dönerek sensörlerin aktif hale gelmesini veya operatörlerce sistemin resetlenmesini beklemesi gerekmektedir. Bu nedenle her kapı sensörünün 20 m uzağında kalacak şekilde (iki hava kapısı hariç) araçlara geçiş üstünlüğü sağlayan cepler planlanmalıdır. Aynı zamanda her hava kapısının üstünde yalnızca o kapının resetlenmesini sağlayan sistemler entegre edilerek acil durum gerektiren hallerde çalışanların güvenli noktalara erken ulaşmaları sağlanabilir.

Ocak içinde 4'ü emici, 9'u üfleyici olmak üzere toplam 13 fan bulunmaktadır. Fanların tamamı otomasyon sistemle çalışmaktadır. Fanların çalışmasında havalandırma programı olan 3 boyutlu Ventsım programı kullanılmaktadır. Bu program ile panoların hava dağılımlarının analizi, ocağa giren hava miktarı, ocak toplam direnci, kollardaki hava dağılımı, şebeke gücü ve vantilatör gücü tespit edilebilmektedir. Fanlar aktif moddan pasif moda geçmesi durumunda sürücüler kontrol edilir ve sistem resetlenerek kısa sürede aktif hale getirilir. Eğer sistemin ana bileşenlerinden olan Gateway (ağ geçidi) cihazının bağlantısı kopmuş ise fan merkezi izleme sistemi tarafından kontrolü sağlanır. Bu tür durumlarda bağlantı sistemi teknik birimlerce kontrol edilir ve arıza giderilir. Yazılımsal, donanımsal veya yedek parça gereksinimine ihtiyaç duyulması durumunda tedarikçi kurum/kuruluş ile iletişime geçilir. Ana fanda arıza yaşanması durumunda ise yedek fanlar devreye girmektedir. Fanların otomasyon özelliğine sahip olması sistemsel arızaların sık yaşanmasına neden olabilmektedir. Bu nedenle hata okuma, anlama ve yorumlama yetkinliğine sahip çalışanların varlığı bu tür arızaların kısa sürede çözümlenmesine katkı sağlayabilir. Aynı zamanda destek alınan kurum/kuruluşların servis ağının geniş olması ve işletmeye yakın mesafede bulunması stratejik açıdan önemli olduğu düşünülmektedir.

Yeraltı ocak havasında birçok nedenden ötürü patlayıcı, yanıcı ve zehirli gaz birikebilmektedir. Bu gazların mesleki maruziyet sınır değerlerini aşıp aşmadığının tespit edilmesi ocak güvenliği açısından son derece önemlidir. Çalışmanın yapıldığı işletmede sekiz adet gaz sensörü bulunmaktadır. Gaz sensörleri, üretimin yoğun olduğu yerlere, hava akımının az olduğu yerlere ve kirli havanın geçtiği noktalara yerleştirilmiştir. Sensörler yirmi dört saat kesintisiz ölçüm yapmaktadır. Böylelikle riskli ve yüksek tehlike içeren lokasyonlarda işgücü gereksinimine ihtiyaç duyulmadan anlık gaz takibi yapılabilmektedir. Yeraltı madenciliğinin yapıldığı yerlerde nem, sıcaklık ve su varlığından dolayı bu cihazların kalibrasyonları periyodik olarak kontrol edilmelidir. Ayrıca, gaz

sensörlerinden elde edilen verilerin doğruluğunun test edilmesi amacıyla manuel gaz ölçüm cihazları ile ortam ölçümü yapılarak veriler karşılaştırılabilir. Bu durum aynı zamanda gaz sensörlerinden elde edilen verilerin doğruluğunun teyit edilmesi açısından da önemlidir.

Yeraltı madencilik faaliyetlerinin yapıldığı orta ve büyük çaplı galerilerde, kat arası üretimin yapıldığı yerlerde tavan ve yan cidarların delimi Simba'lar ile yapılmaktadır. Simbalar havalandırma ferelerinin ve kısa nakliye ferelerinin açılmasında da kullanılmaktadır. Simba, uzaktan kontrol edilebilmekte ve delim esnasında tij değişimini otomatik olarak yaparak yaklaşık 18 m'ye kadar delim yapabilmektedir. Simba ile 20-25 m'ye kadar da delim yapılabilmekte, ancak bu mesafeler yalnızca cevher taranması için kullanılmaktadır. Otonom kullanımda manuel kullanıma göre daha az uzuv yaralanmalı kaza yaşanmaktadır.

Madencilik faaliyetlerinde cevherin hızlı ve ekonomik şekilde elde edilebilmesi patlatma ile sağlanmaktadır. Çalışmanın yapıldığı işletmede patlatma işlemi, elektronik kapsül ile yapılmaktadır. Elektronik kapsül, adi kapsülde (eski yöntem) olduğu gibi çarpma ve ezilme gibi dış faktörlerden etkilenmez. Statik elektrik veya herhangi bir enerji kaynağı sistemi aktif hale getirmez. Ancak sistemde yaşanabilecek enerji kaybı kablosuz patlatma için yapılan ayarların güncellenmesine, patlatmanın gecikmesine ve zaman kaybına neden olmaktadır. Patlatma sürecinde gerekli ayarlama ve kontroller yapıldıktan sonra son onay noktası Blaster'dır. Eğer patlatmadan vazgeçilirse cihazların ayarları sıfırlanır ve patlatma iptal edilir. Sistem eski usulle yapılan patlatma yöntemine göre daha güvenli ve daha verimli şekilde yapılmaktadır.

Kavlakların kontrolsüz düşmesi yeraltı madencilik faaliyetlerinde en sık görülen iş kazalarından bir tanesidir. Bu nedenle her vardiya başlangıcında-sonunda, atım sonrasında periyodik olarak kavlak kontrolü yapılmalıdır. Çalışmanın yapıldığı işletmede kavlak taraması ve kontrolü Pause ile yapılmaktadır. Pause ile kontrollü kavlak düşürme işlemi bomun ön kısmında

bulunan kırıcının düşürülmek istenen parçaya darbe yapmasıyla parçanın ana kayadan ayrılması sağlanır. Bu işlem esnasında ortaya çıkan tozun bastırılması, boma monte edilmiş su hortumları ile sağlanmaktadır. Paus'un manuel ve uzaktan olmak üzere iki kullanım şekli bulunmaktadır. Manuel kullanımda düşürülmek istenen parçanın kabine düşmesi veya sıçraması çalışanlar için risk oluştururken, uzaktan kumanda ile kullanımında ise operatörün düşmesi, bayılması, görüş mesafesinin darlığı, aydınlatmanın yetersizliği de yine risk oluşturmaktadır. Bu tür riskli durumlar için alınabilecek koruyucu ve önleyici tedbirler şu şekilde sıralanabilir: Araç kabinine taş veya kavlak sıçraması veya düşmesi durumuna karşı kabin kısmında bulunan ön hat boyunca tel ağların çekilmesiyle kavlakların çarpma şiddeti kısmen azaltılabilir. Yine bu noktalarda aydınlatmanın yeterli düzeyde olması bazı risklerin öngörübilmesi açısından önemlidir. Kavlak düşürme esnasında su pompalarının hasar görmesi ve suyun bitmesi ihtimaline karşı yedek su pompası ve araca monte edilebilen orta hacimli su deposu entegre edilebilir.

Yeraltı madenlerinde, doğal yollarla cevher kazanımı sağlandıkça ocak içinde büyük boşluklar oluşabilmektedir. Özellikle tavan göçertmeli ve kat arası üretim yöntemlerinin kullanıldığı işletmelerde büyük boşluklara rastlanabilmektedir. Bu boşlukların tespit edilmesi ve risk oluşturmadan bertaraf edilmesi etkin bir üretim için gereklidir. GeoSight CMS, yeraltı madencilik faaliyetlerinin yapıldığı yerlerde boşlukların tespit edilmesi için kullanılan bir cihazdır. CMS, ölçüm yapılmak istenen noktaya uzun bir aparat yardımıyla yerleştirilir ve istenilen boyutta ölçüm yapılabilir. Bu işlem esnasında çalışanların bu noktaya girmesine ve yaklaşmasına hiçbir şekilde izin verilmez. CMS kullanılarak yapılan ölçümlerde çalışanların güvenli alanlarda bulunmaları sürdürülebilir bir iş güvenliği açısından önemlidir. Aynı zamanda üretimi biten alanlara dolgu yapılmak istendiğinde, dolgu öncesi ve sonrası CMS ile ölçüm sonuçları karşılaştırılabilir. Böylelikle aradaki fark m^3 olarak hesaplanarak boşluk için ne kadar dolgu malzemesinin kullanıldığı hakkında da bilgi vermektedir.

Madencilik sektörü çok tehlikeli iş kollarından bir tanesidir. Her yıl binlerce maden çalışanı yaralanmalı veya ölümlü iş kazasına maruz kalmaktadır. Risklerin öngörülebilmesi için erken uyarıcı sistemler kullanılabilir ve bu sayede çoğu kez kazaların şiddeti azaltılabilir. Ancak bazı durumlarda risk boyutunun çok yönlü olması birden çok güvenlik alternatifinin bir arada kullanılmasını gerektirebilir. Yeraltı sığınma odaları bu tür durumlarda çalışanların risk ortadan kalkana kadar sığınmaları için tasarlanmış alternatif güvenlik uygulamalarındandır. Yaşam odaları tüketici talebi göz önünde bulundurularak tasarlanabilmektedir. Ayrıca kolay taşınabilirler ve elektriksiz çalışabilmektedirler. Çalışanların acil durumlarda acil çıkış noktalarını kullanamadıkları durumlarda kolayca erişebilecekleri ve üretim alanlarına yakın noktalara yerleştirilirler. Çalışmanın yapıldığı işletmede çalışanların ve ziyaretçilerin acil durumlarda kullanmaları için üç adet (20 kişilik kapasite) yaşam odası bulunmaktadır. Çalışanların ve ziyaretçilerin acil durumlarda acil çıkış noktalarını kullanarak güvenli alanlara ulaşmaları veya yaşam odalarına erişmeleri ortalama 9-12 dakikadır. Üretim alanlarında çalışanlar için 30 dk. yetecek oksijenli ferdi kurtarıcı (OFK) maskeleri bulunmaktadır. Ancak acil durumlarda çalışanların korku, endişe ve bilinç dışı hareket etmeleri bu noktada bulunan maskelerin yanlış kullanılmasına neden olabilir. Bu nedenle üretim alanlarının dışında acil çıkış ve yaşam odalarına erişim noktalarının olduğu lokasyonlara istasyonlar kurulabilir.

Risklerin ve tehlikeli durumların erken teşhis edilmesi kapsamlı bir risk değerlendirmesi ile sağlanabilir. Böylelikle kaza öncesinde etkin koruyucu ve önleyici tedbirler hayata geçirilerek risklerin tehlikeye dönüşmesi engellenebilir. Risk değerlendirmesi ve acil durum eylem planları risklerin bertaraf edilmesi, kabul edilebilir seviyelere indirilmesi ve zararın en az kayıpla atlatılması açısından önemlidir. Acil durum eylem planları risk değerlendirmelerinin bir nevi çıktısı gibidir.

Öngörülemeyen durumlar için acil durum öncesi, acil durum anı ve acil durum sonrası olmak üzere üç başlık altında toplanarak çeşitli aksiyon planları hazırlanır. Yapılan çalışma kapsamında işletmenin acil durum eylem planı incelenmiş, Endüstri 4.0 kapsamında çalışan sağlığı ve güvenliğini iyileştirici ve iş kazalarını önleyici bazı çözüm önerileri sunulmuştur. Bu öneriler başlıca;

- Erken uyarı sistemleri yeraltı işletmesinde üretim alanlarına ve yüksek tehlike arz eden her lokasyona yerleştirilebilir (ısıya ve yer hareketlerine karşı duyarlı sensörler),
- Acil durumlarda yangınla müdahale ekibinin bulunduğu alana uyarıcı sinyali entegre edilebilir. Böylece tahlisiye ekibinin olaya müdahale süreleri kısaltılabilir,
- Ortamda tehlikeli gaz oranının artması durumunda hava akım debisi artırılarak (bu durum ocak içine yerleştirilmiş fan ve otonom hava kapıları ile sağlanabilir) ocak atmosferinin patlaması, yanması aynı zamanda zehirli gaz salınımının oluşması engellenebilir,
- Yangın, göçük, deprem ve patlama gibi acil müdahale gerektiren durumlarda en yakın kolluk kuvvetlerine acil durum sinyali gönderen sistemler entegre edilebilir,
- Araç, makine ve ortamda (özellikle yeraltı makine-ekipmanlarına) ısıya karşı duyarlı sensör ve yangın uyarı sistemleri dahil edilebilir,
- Bulaşıcı veya salgın hastalıklara karşı otomasyon sistemlerinin üretim süreçlerindeki etkinlikleri artırılabilir.

Yeraltı madencilik faaliyetleri daha önce de bahsedildiği üzere birçok riski içinde barındırabilmektedir. Bu nedenle üretime dahil edilmesi planlanan ileri teknolojik uygulamaların kabul edilmiş ve kanıtlanmış risklerinin bilinmesi gerekmektedir.

Çünkü her ne kadar Endüstri 4.0 ileri teknolojik uygulamalar hayata geçirilmeye çalışılsa da yeraltı madencilik faaliyetlerinde kaza tipleri ve kazaların ortaya çıkış nedenleri çoğunlukla benzerlik gösterebilmektedir. Bu nedenle kazalara neden olan hususların kök nedenlerinin tespit edilebilmesi için işletme faaliyetleri kapsamında AHP yöntemi uygulanmıştır. Yapılan literatür araştırmasında, araştırmacıların büyük çoğunluğunun AHP yöntemini, makine seçimi, ekipman seçimi, tedarik seçimi, ERP yazılım seçimi, proje ve portföy seçimi, tesis yeri seçimi ve personel seçimi gibi alanlarda yaptıkları tespit edilmiştir. AHP yöntemi kullanılarak madencilik sektöründe iş güvenliği uygulamalarına veya iş kazalarına neden olan hususların tespit edilmesine yönelik herhangi bir çalışmaya rastlanmamıştır. Bu nedenle işletmenin yeraltı üretim faaliyetlerinde risklerin derecelendirilmesi ve ağırlıklandırılması amacıyla AHP yöntemi uygulanmıştır.

Çalışmada verilerin eksik veya hatalı çıkma ihtimaline karşı iki yöntem (Super Decison ANP ve Microsoft Excel) kullanılarak çözüm sağlanmıştır. Yapılan hesaplamalar sonucu her iki yöntemde de tutarlı sonuçlar bulunmuştur. Çalışma sonucuna göre kazaların ortaya çıkmasına neden olan kriterlerin ağırlıklandırılması sırasıyla; K5 Malzeme Düşmesi (0.38932), K4 Aşırı Özgüven (0.22386), K1 Dikkatsizlik (0.21936), K3 Makine Kullanımı (0.09130), K2 Bakım Onarım (0.07616) bulunmuştur. Çalışmanın yapıldığı işletmede 2010-2021 yılları arasında 1 uzuv kayıplı olmak üzere toplam 66 iş kazası meydana gelmiştir. Kazaların ortaya çıkış nedenleri incelendiğinde; malzeme düşmesi, uzuv sıkışması, malzeme çarpması, lastik patlaması, su borusu patlaması, mikser camının patlaması, yüksekten düşme, gaz kaçağı sonucu oluşan yanıklar, takılarak düşme, bakım onarım esnasında uzuv sıkışması vb. durumlar olarak belirlenmiştir. AHP sonucu elde edilen veriler ve işletmede meydana gelen kazaların nedenleri karşılaştırıldığında kazaların ortaya çıkış nedenlerinin büyük oranda benzerlik gösterdiği tespit edilmiştir.

Kazalar yıl, üretim, çalışan ve kullanılan teknoloji açısından değerlendirildiğinde ise, 2010-2015 yılları arasında toplamda 1.332.000 ton malzeme üretilmiş ve 24 iş kazası yaşanmıştır. 2016-2021 yılları arasında toplamda 3.450.000 ton malzeme üretilmiş ve 42 iş kazası yaşanmıştır. Kaza sayısı, çalışan sayısı ve tonaj miktarları dikkate alındığında 2015 yılından sonra iş kazalarında artış yaşanmıştır. İşletmede istihdam edilen çalışanlara hem kurum içi hem de kurum dışı mesleki eğitimin ve iş güvenlik eğitiminin verildiği bilinmektedir (Ek-4). İş kazalarının bu denli yüksek olmasının nedeni iş güvenlik kültürünün istenilen düzeyde çalışanlarca benimsenmemiş olması, teknolojideki karmaşıklığın artması, çalışanların dijital değişime kapalı olması ve 2012 yılında 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ve beraberinde çıkarılan yasal düzenlemelerin getirmiş olduğu yükümlülüklerden kaynaklandığı düşünülmektedir. Nitekim işletmeler 6331 sayılı Kanun öncesinde iş kaza kayıtlarının tutulma ve bildirimi zorunluluğu bulunmaz iken, yeni yasal düzenlemenin (2013 tarihi ve sonrasında) yürürlüğe girmesi ile bu durum zorunlu hale gelmiştir.

Madencilik sektöründe uygulanmaya başlanan Endüstri 4.0 uygulamaları çalışana, işverene, üretim süreçlerine ve sermayeye katkısı halen tartışma konusudur. Genel algı bu süreç ile işgücüne olan talebin azalacağı ve insansız üretimin daha baskın hale geleceği yönündedir. Bu nedenle çalışanların geleneksel işgücünü ön planda tutmak istemeleri ve işsiz kalma korkusu Endüstri 4.0 dönüşüm sürecinin önündeki en önemli sorunlardan bir tanesi olduğu düşünülmektedir. İşletmelerdeki aktörlerin, Endüstri 4.0 dönüşüm sürecine işgücünüde dahil etmesiyle çalışanların; dijital okur yazarlık, veri akışının takibi ve veri analizi, hata ayıklama ve düzeltme gibi yetkinlikleri artırılabilir. Bu durum işletmenin rekabet gücünün artmasını, iş veriminin artmasını, işçi maliyetlerinin azalmasını, iş kazaları ve meslek hastalıklarından kaynaklı birçok olumsuz etkinin azalmasını sağlayacaktır.

Endüstri 4.0 kapsamında teknolojilerin önümüzdeki yıllarda sanayinin vazgeçilmez unsuru haline gelmesi beklenmektedir. Her sanayi devriminde bilimin teknolojiye, teknolojinin de sanayiye evrilmesinde işgücü kritik rolü üstlenmiştir. Endüstri 4.0 sürecinde iş gücünün bu sürece bakış açısı işletmelerin bugünü ve yarını açısından stratejik öneme sahip olacağı düşünülmektedir. Bu durumun daha geniş ve kapsamlı ele alınabilmesi ve doğru verilere ulaşılabilmesi için işletmenin yeraltı çalışanlarına yönelik 29 sorudan oluşan tarama modelli nicel bir anket çalışması uygulanmıştır. Çalışmada katılımcıların Endüstri 4.0 kapsamında ileri teknolojik uygulamalarına yönelik algı seviyelerinin tespit edilmesi amaçlanmıştır. Yapılan çalışma genel olarak değerlendirildiğinde şu sonuçlara ulaşılmıştır.

Araştırmada çalışanların mevcut işyerinde iş kazası geçirip geçirmedikleri sorulmuş, %75,6'sı iş kazası geçirmediğini, %24,4'ü ise iş kazası geçirdiğini belirtmiştir. Aynı kişilere daha önce çalıştıkları işyerlerinde kaza geçirip geçirmedikleri sorulduğunda ise %73,1'i iş kazası geçirmediğini, %26,9'u ise iş kazası geçirdiğini belirtmiştir. Araştırma sonucu dikkate alındığında, katılımcılardan mevcut işyerinde iş kazası geçirenler ile meslek hayatında iş kazası geçirmiş olanların oranları birbirine oldukça yakın olduğu görülmüştür. Ancak elde edilen veriler ışığında daha önce çalıştıkları iş yerlerinde kaza geçirdiğini beyan eden çalışanların kaza geçirme nedenleri ve kaza geçirdikleri sektöre dair bilgilere ulaşılamamıştır.

Katılımcılara iş yaşamları boyunca meslek hastalığı geçirip geçirmedikleri sorulmuş, %94,4'ü herhangi bir meslek hastalığı geçirmediğini, %5,6'sı ise meslek hastalığı geçirdiğini belirtmiştir. Meslek hastalığına yakalanan %5,6'lık kısmın önemli bir oran olduğu düşünülmektedir. Araştırma sonucu meslek hastalığına yakalanan çalışanların hangi meslekleri icra ederken meslek hastalıklarına yakalandıkları konusunda bilgiye ulaşılamamıştır.

SGK verilerine göre Tablo 3.2.1- 5510 sayılı Kanun'un 4-1/b Maddesi Kapsamındaki Sigortalılardan Meslek Hastalığına Tutulan Sigortalı çalışan sayısı 2018 yılında 3, 2019 yılında 3, 2020 yılında ise 1'dir. Dünya genelinde meslek hastalıklarının oranının binde 4 ile 12 arasında olduğu bilinmektedir. Türkiye'deki meslek hastalığı oranının beklenin oldukça altında kalması meslek hastalıklarının bildirim ve düzenli kayıtlarının tutulup tutulmadığını akıllara getirmektedir.

Katılımcılara iş kazalarının ortaya çıkmasındaki en önemli hususların neler olabileceği sorulmuş, çalışanların %64,4'ü mesleki körlük ve aşırı özgüvenden kaynaklandığını belirtmiştir. Araştırma sonucu dikkate alındığında katılımcılar kazaların ortaya çıkmasındaki en önemli hususun aşırı özgüvenden kaynaklandığını belirtmişlerdir. Kişilerin başarılı bir hayat sürmesinde özgüvenin varlığı çok önemlidir. Ancak aşırı özgüven duygusu bazı durumlarda kişiler için olumsuz etki yaratabilir. Bu durum çoğu zaman çalışanların işlerine yeterli özveriyi göstermemelerine, bununda iş kazalarına neden olduğu bilinmektedir.

Araştırmanın bir diğer sonucuna göre katılımcıların %41,8'i çalışanların yetersiz ve işe uygun seçilmediğinden dolayı iş kazalarının ortaya çıktığını belirtmiştir. Madencilik gibi çok tehlikeli işkollarında görev dağılımları ve personel seçimi yapılırken çalışanların istihdam edilecekleri alanlar ile ilgili yeterlilik ve uygunluk testi yapılması teşvik edilmelidir. Ayrıca çalışanların kurum içi ve kurum dışı eğitim programlarına katılımları sağlanarak, çalışanlar daha nitelikli hale getirilebilirler.

Katılımcıların bilişim teknolojilerine yönelik bilgi düzeyleri incelendiğinde, %43,1'inin orta, %25,6'sının iyi, %11,3'ünün çok iyi iken, %10'unun düşük, kalan %10'unun ise çok düşük olduğu gözlemlenmiştir. İşletmelerin ileri teknolojik uygulamaları işletmelerine entegre etmeleri ve sistemin uyum içinde çalışabilmesinin, çalışanların bilişim teknolojilerine olan ilgilerine göre şekillenebileceği öngörülmektedir.

Endüstri 4.0 teknolojik uygulamaların önündeki en büyük engelin bilişim ve iletişim gibi alanlarda nitelikli işgücü eksikliği olması, bu nedenle dijitalleşmeyi temel alan bir iş modelinin oluşturulabilmesi (yüksek kaliteli işlerin yaratılması) işveren ve yetkin personel gereksiniminin karşılanması ile sağlanacaktır.

Katılımcılara Endüstri 4.0 hakkında bilgi sahibi olup olmadıkları sorulmuş, %53,1'i bilgisinin olmadığını, %46,9'u ise bilgisinin olduğunu belirtmiştir. Bu sonuca göre katılımcıların yarısının Endüstri 4.0 hakkında bilgisinin olmadığı tespit edilmiştir. İşverenler işyerlerinde istihdam ettikleri kişileri dijital dönüşüm hakkında eğitici ve öğretici programlar hazırlayarak sürece dâhil etmelidir. Bu çalışma yapılırken teknik becerisi yüksek ve uzman kişiler ile yetkin olmayan kişilerin bir arada çalışması sağlanabilir. Böylelikle çalışanlar arasında yetkinlik açısından bütünlük sağlanabileceği düşünülmektedir.

Katılımcılara Endüstri 4.0 ve otonom sistemlere geçiş sürecinde yaşanabilecek en önemli sorunların neler olabileceği (çoktan seçmeli) sorulmuş, %51,9'u yatırım maliyetlerinin yüksek olduğunu, %37,5'i ise konunun uzmanı personelin yetersiz olduğunu belirtmiştir. Araştırma sonucu dikkate alındığında, katılımcıların %51,9'u geçiş sürecinin maliyetli olacağını belirtmiştir. İşletmelerin Endüstri 4.0'a geçiş için plan ve proje süreçlerinde birtakım stratejiler belirlemeleri gerekebilir. Bu stratejiler, doğru makine ve ekipman seçimi, teknik yeterliliğe sahip çalışan varlığı, işletme teknolojik altyapı yatırımları vb. olarak sıralanabilir. Bu hususların hayata geçirilmesinde işletme sermayelerinin teknolojik yatırım maliyetlerini karşılayacak oranda olup olmadığı sürecin en önemli konularından biri olarak değerlendirilmektedir. Ancak yakın gelecekte birçok işletmenin endüstriyel rekabet güçlerini artırmak ve bir adım öne geçebilmek için bu atılımları gerçekleştirmeleri gerekecektir. Bu nedenle Endüstri 4.0 teknolojileri için işletmelerin uzun vadede önemli yatırımlar yapmaları gerekmektedir.

Türkiye'de ve dünya çapında Endüstri 4.0 ile ilgili yapılmış araştırmalar sonucunda bu süreçte yaşanması beklenen en önemli güçlüğün finansman ve ekonomik kaynaklı olacağı öngörülmektedir. Bu kapsamda her işletmenin yatırım öncesinde mevcut durum analiz çalışması yapması önerilmektedir. Yapılan yatırımlardan olumlu geri dönüşler alındıkça işletmelerin gelecekte yapmayı planladıkları yatırımlar için daha istekli olacakları öngörülmektedir. Araştırmada katılımcıların %37,5'i konunun uzmanı personel bulunmasında yaşanan zorlukların olduğunu belirtmiştir. Endüstri 4.0 ile üretime dahil edilen gelişmiş teknolojiler bu alanda çalışan kişilerin yetkinliklerinde de büyük değişime neden olacağı öngörülmektedir. Makine ve ekipmanların farklı bileşenler ile (sensör, yazılım, network ağı vb.) bir araya gelmesi çalışanların birden çok alanda uzmanlaşma gereksinimini ortaya çıkaracaktır.

Katılımcılara işyerinde Endüstri 4.0 güncel teknolojik makine ve ekipmanları kullanılabilecek yetkinliğe sahip personel olup olmadığı sorulmuş, %60'ı yetkin personel bulunmadığını, %25,6'sı ise kısmen yetkin personel bulunduğunu belirtmiştir. Araştırma sonucu değerlendirildiğinde, işletmede Endüstri 4.0 kapsamında makine ve ekipman kullanımına sahip yeterli sayıda yetkin personelin olmadığı tespit edilmiştir. İşletmelerin Endüstri 4.0 dönüşüm sürecindeki en önemli unsurunu nitelikli işgücü piyasasının kısa ve uzun vadede ihtiyaçlarını karşılamasıyla sağlanacaktır. Bu nedenle mevcut işgücü yetkinliklerinin artırılması ve nitelikli yeni işgücü profilinin geliştirilmesi yeni sürecin belirleyici unsurlarından olacaktır.

Katılımcılara Endüstri 4.0 uygulamalarının avantajlarının neler olabileceği (çoktan seçmeli) sorulmuş, %68,8'i iş sağlığı ve güvenliği açısından olumlu etki yaratacağını, %57,5'i üretim hızında artış yaşanacağını, %46,3'ü üretim kalitesinde artış sağlayacağını, %38,1'i ekonomik kazanç sağlayacağını, %15'i ise istihdamda artış yaşanacağını belirtmiştir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin işletme ekosistemine uyumlu hale gelmesiyle, çalışan rolleri, iş yapma şekilleri ve çalışan güvenliği

alanındaki endişelerin minimum düzeye inmesi beklenmektedir. Katılımcıların %57,5'i Endüstri 4.0 uygulamaları ile üretim hızında artış yaşanacağını belirtmiştir. Sanayide robot ve otomasyon makinelerin kullanılmasıyla birlikte işgücü maliyetleri, üretimde hata oranı, enerji kaybı gibi hususların minimum seviyede olması beklenmektedir. Yaşanan değişimin seri ve kaliteli ürün elde edilmesi açısından işletmelere büyük ekonomik avantaj sağlayacağı düşünülmektedir. Katılımcıların %38,1'i yeni sürecin ekonomiye katkı sağlayacağını belirtmiştir. Endüstri 4.0'ın kaçınılmaz hale geldiği günümüz dünyasında, Endüstri 4.0'ın seri üretimi hızlandırması, üretim maliyetlerini minimize etmesi, özellikle de işçi sağlığı ve güvenliğinin sağlanmasında ciddi gelişmeler yaratması bu sürecin ekonomik anlamda en önemli ve olumlu gelişmelerinden olduğu düşünülmektedir. Katılımcıların %15'i Endüstri 4.0 ile istihdamda artış yaşanacağını belirtmiştir. Endüstri 4.0 kapsamındaki teknolojilerin üretim ve ürün üzerindeki etkinliğinin artması, yeni iş modellerinin ortaya çıkmasına ve sürdürülebilir bir üretim için yetkin çalışan gereksinimini ortaya çıkarması beklenmektedir. Örneğin otonom organizasyonu, dinamik yönlendirme, kapsamlı bağlantılar ve büyük veri gibi ileri otomasyon süreçlerin organizasyonu bu kişiler tarafından sağlanacaktır.

Katılımcılara Endüstri 4.0 uygulamalarının dezavantajları (çoktan seçmeli) sorulmuş, %60,62'si işsizlikte artış yaşanacağını, %53,8'i enerji tüketimin artacağını, %26,9'u ise iş kazalarında ve meslek hastalıklarında artış yaşanacağını belirtmiştir. Araştırma sonucu dikkate alındığında, katılımcılar bu süreçte en önemli dezavantaj olarak, robotların, otomasyon sistemlerin ve yapay zekâ gibi teknolojilerin işgücünün yerini alarak kendilerini işsiz bırakması olarak görmektedirler. Bazı katılımcılar ise eski üretim yöntemlerini daha çok benimsediklerini, bu durumun işsizlik kaygısını azalttığını ve kendilerini daha güvende hissettiklerini belirtmişlerdir. Bir diğer sonuca göre katılımcıların %53,8'i enerji tüketiminde artış yaşanabileceğini belirtmiştir.

Geçmiş üç sanayi devriminde çoğunlukla emek, işgücü, üretimin lokomotif rolünü üstlenmiştir. Günümüzde ise otomasyon ve bağlantılı cihazların üretim süreçlerindeki etkinliği gittikçe artmaya başlamıştır. Bu durumun sürdürülebilirliği açısından yeni enerji kaynaklarının araştırılması (hidrojen enerjisi, füzyon enerjisi vb.) ve altyapının bu ihtiyacı karşılayacak şekilde tasarlanması gerekecektir. Endüstri 4.0 teknolojilerinin üretim süreçlerinde tam olarak hayata geçmesiyle tükenebilir enerji kaynaklarına olan gereksinimin (fosil yakıtların) azalması beklenmektedir. Bunun yerine biyo-enerjinin ve sürdürülebilir enerji kaynaklarının giderek daha fazla önem kazanması beklenmektedir. Katılımcıların %26,9'u ise Endüstri 4.0 ile birlikte iş kazalarında ve meslek hastalıklarında artış yaşanacağını belirtmiştir. Dördüncü sanayi devrimi ve bileşenleri geleneksel üretim yöntemlerinden farklı olarak birden fazla unsurun (Bulut teknoloji, Yatay-Dikey Entegrasyon, Nesnelerin İnterneti, Otomasyon, Robotlar, Simülasyon, 3D yazıcılar, Artırılmış Gerçeklik) bir araya gelmesiyle üretim süreçleri çok daha karmaşık hale gelmeye başlamıştır. Risk ve tehlikesi tespit edilmemiş ve kanıtlanmamış teknolojilerin; yüksek gürültü-titreşim, basınç, radyoaktik ışınlar, kimyasal atıklar, biyolojik riskler, makine otomasyon hataları, tekrarlanabilen işlerin otomasyon ve yapay zeka destekli sistemler ile yapılmaya başlanacak olmasının iş gücüne olan gereksinimi azaltması ve işsizliğin artması, kişisel verilere yönelik güvenlik açıklıklarının artması ve güvenlik sorunlarının ortaya çıkması yeni dönemin muhtemel risklerinden bazılarıdır.

Katılımcılara Endüstri 4.0 ve otomasyon sistemlere geçiş sürecinde yaşanabilecek iş güvenliği (çoktan seçmeli) sorunlarının kaynakları sorulmuş, %62,5'i çalışanların deneyimsizliği, %58,1'i çalışanların eğitimsizliği, %43,1'ü bakım ve onarımda yaşanan aksaklıklar, %41,9'u ise kullanılan ekipmanların karmaşık yapıda olması şeklinde yanıtlamışlardır. Araştırma sonucu dikkate alındığında, deneyim ve eğitim başlıklarının katılımcılar için en önemli iki sorun

olduğu görülmektedir. İşletmeye gelen her makine ve ekipman önce deneme sürecine tabi tutulmaktadır.

Bu süreçte işletmeye, tedarikçi firma tarafından görevlendirilen yetkili personelin makine ve ekipmanın kullanımı, bakımı, onarımı, çalışanlar açısından güvenli ve riskli yönleri olmak üzere pek çok konuda destek verildiği bilinmektedir. Ancak katılımcıların yüksek oranda eğitimsiz ve deneyimsiz olmaları yönünde fikir beyan etmeleri, makine ve ekipmanları tam olarak tanımadıkları izlenimini yaratmıştır. İşyeri yönetiminin bu durum hakkında kapsamlı bir çalışma yaparak çalışanlara periyodik eğitim verilmesi gerektiği düşünülmektedir. Ayrıca her eğitim sonrası katılımcıların bilgi düzeyleri tekrar ölçülmeli ve tespit edilen eksiklikler telafi edilmelidir. Araştırmaya katılanların %43,1'i bakım ve onarımda yaşanan aksaklıkların iş sağlığı ve güvenliğini olumsuz yönde etkilediğini belirtmişlerdir. İşletmede kullanılan endüstriyel makine ve ekipmanların bakım ve onarımının periyodik olarak, alanında uzman kişilerce yapıldığı bilinmektedir. Ancak karmaşık ve çok fonksiyonlu yapılarda yaşanabilecek muhtemel sorunlar karşısında (yazılımsal) ise tedarikçi firma/şirket tarafından destek alınmalıdır. İşletmelerin benzer sorunlara zaman kaybı yaşamadan çözüm üretmeleri ve teknik servislere bağımlılıklarını azaltmaları için bu alanda yetişmiş personel istihdamını artırmaları, dönüşüm sürecinde atılacak en stratejik adımlardan bir tanesi olacağı düşünülmektedir. İşyerinde kullanılan bağlantılı sistemlerin uzaktan erişim imkanıyla arıza tespiti ve onarımı kısa sürede karşılanabilir. Araştırmaya katılanların %41,9'u Endüstri 4.0 ve otomasyon sistemlere geçişiyle üretim sürecinin çok daha karmaşık bir hale geleceğini belirtmiştir. Dijital teknolojilerin, akıllı makinelerin, robotların, sensörlerin ve akıllı yazılımların sanayide kullanılmaya başlandığı bilinmektedir. Bu yaşanan hızlı değişim, sistemleri daha bağlantılı ve daha karmaşık getirecektir. Bu nedenle çalışanların bakım, onarım, hata anlama, yorumlama, veri analizi gibi hususlarda

daha yetkin hale gelmesinin önünü açacağı düşünülmektedir. İşgücü yetkinliğinin yetersiz kaldığı durumlarda yardımcı bazı uygulamalar hayata geçirilebilir.

Örneğin, maden gibi çok tehlikeli koşullarda çalışan kişilerin kendilerinin fiziksel durumları hakkında gerekli birimlere bilgi aktaran sensörler ile donatılmış IoT tabanlı giyilebilir teknolojileri kullanması ve buna ek olarak da akıllı mobil cihazlara entegre edilmesiyle işyerleri çalışanlar için daha güvenli hale getirebilir. Giyilebilir akıllı teknolojiler, artırılmış gerçeklik ve sanallaştırma sayesinde karmaşık hale gelmiş olan işlerin ileri teknolojik uygulamalardan destek alınarak kullanımı daha kolay ve güvenli hale getirebilir. Bu teknolojilerin bir işletmede verimli bir şekilde uygulanabilmesi ancak işyeri yönetiminin süreci desteklemesi ve benimsemesiyle sağlanabilir.

Endüstri 4.0 ve bileşenlerinin başarılı şekilde işletme ekosistemine entegrasyonu, detaylı hazırlanmış bir yol haritası ile sağlanabilir. Bu nedenle her işletme Endüstri 4.0 kapsamında kendi dinamiklerini ve beklentilerini iyi analiz ederek hedeflerini belirlemelidir. Doğru başlangıç, işletmelerin hem küresel çapta rekabet gücünü artırmasına hem de dinamik bir yapı kazanmalarını sağlayacaktır. Çalışma kapsamında işletmeler için örnek bir 'Endüstri 4.0 Yol Haritası' oluşturulmuştur. Altı ana başlık ve bu başlıklar altında entegrasyon sürecini destekleyici niteliğe sahip ve ihtiyaca göre değişkenlik gösteren parametreler belirtilmiştir. Bu noktada makro ve mikro boyuttaki işletmelerin ihtiyaç duydukları gereksinimleri sistemli bir analiz çalışması yaparak kendi işletmelerine uygun yol haritası belirleyebilir veya çalışma kapsamında hazırlanmış örnek Endüstri 4.0 yol haritasını uyarlamaları tavsiye edilebilir.

Endüstri 4.0'ın sanayide kullanılması kadar toplum 4.0 (süper akıllı toplum) da aynı önemi arz etmektedir. Dijital teknolojiler ne kadar gelişse de sonuçta insan kaynağı tarafından kullanılacaktır. Dijitalleşme farkındalığı artırılmış ve teknoloji yetkinliği kazanmış insan kaynağı sanayide dijital dönüşümün

lokomotifi olacaktır. Becerisi ve yetkinliği artırılmış insan kaynağı kendi iş güvenliğini sağladığı gibi tesisin de güvenliğini sağlayacaktır.

Kullanılan elektriksel-mekanik-otomasyon ağırlıklı yüksek teknoloji ile sıfır kaza hedefine ulaşılmalıdır. Yanlış yapılan insan kaynaklı müdahaleleri bile önleyebilecek altyapı kurulmalıdır.

Endüstri 4.0 ve getirileri dikkate alındığında birçok sektörde ileri teknoloji uygulamalarının işletme ekosistemine entegre edilmeye başlandığı bilinmektedir. Bu konuda üniversite-sanayi iş birliği sağlanmalı ve teşvik edilmelidir. Özellikle çok tehlikeli iş kollarından olan madencilik sektöründe üniversitelerde verilen eğitimler Endüstri 4.0 ile uyumlu olacak şekilde tekrar gözden geçirilerek planlanmalıdır.

Planlamada Endüstri 4.0 ve getirdiği yeni ve uygulanabilir teknolojiler müfredatlara eklenerek öğrencilerin uygulamaları teorik ve pratik eğitim sistemleri ile desteklenmelidir. Bu durum sanayide istihdam edilmesi beklenen öğrencilerin mezun olduktan sonra yeni teknolojiler ile entegre sürecini asgari düzeyde tutmaya ve daha uyumlu şekilde etkilenmelerini sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

Agoro, G.E., 2019. Yapay Sinir Ağlarıyla Yeraltı Ayna Patlatmalarında Kaya Parçalanmasının Modellenmesi. Karadeniz Teknik Üniversitesi, Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yayınlanmamış Yüksek Lisans Tezi, Trabzon, s.19.

Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Mesleki Yeterlilik Kurumu, (myk.gov.tr), Erişim Tarihi:27.09.2020.

Aile, Çalışma ve Sosyal Hizmetler Bakanlığı, Mesleki Yeterlilik Kurumu Mesleki Yeterlilik Belgesi Zorunluluğu Getirilen Mesleklere İlişkin Tebliğ, Erişim: 10.06.2021.

Akalp, G. ve Yamankaradeniz, N., 2013. İşletmelerde Güvenlik Kültürünün Oluşumunda Yönetimin Rolü ve Önemi. Sosyal Güvenlik Dergisi, 3(2), s.100.

Aksoy, S., 2017. Değişen Teknolojilere ve Endüstri 4.0: Endüstri 4.0'ı Anlamaya Dair Bir Giriş. SAV Katkı, Cilt:4, pp.34-44.

Akkaya, M.A., 2017. Bilgi Merkezlerinde İş Sağlığı ve Güvenliğinin Önemi ve Uygulanabilirliğine İlişkin Bir Durum Değerlendirmesi. Türk Kütüphaneciliği, 31(4), Erişim Adresi: https://www.tk.org.tr, s.504.

Akpınar, T., 2017. İş Sağlığı ve İş Güvenliği. Ekin Yayınevi, Bursa, 41s.

Alfred, D. ve Chandler, Jr.,1994. Scale and Scope: The Dynamics Of Industrial Capitalism, The Belknap Press of Harvard University Press, Harvard.

Amanna, A., Agrawal, A. and Manteghi, M., 2010. Active RFID For Enhanced Railway Operations, ASME. In: ASME 2010 Rail Transportation Division Fall Technical Conference, s.31-37.

Andıç, A. ve Kılıç, A., 2015. Yeraltı Maden Ocaklarında İç Hava Kalitesi. 12. Ulusal Tesisat Mühendisliği Kongresi, İzmir.

Anonim, 2020. Gümüştaş Madencilik. http://www.ktu.edu.tr Erişim Tarihi: 16.02.2020.

An S-H., Kimb G-H ve Kang K-I., 2007. "A Case-Based Reasoning Cost Estimating Model Using Experience By Analytic Hierarchy Process". Building And Environment, 42(7), pp.2573-2579.

Antalya Ticaret ve Sanayi Odası. 2017. Antalya Firmalarına Yönelik Endüstri 4.0 Durum Tespiti, https://www.atso.org.tr, s.24.

Aile ve Çalışma Sosyal Hizmetler Bakanlığı. 2015. Avrupa Birliği'nin İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemleri İyi Uygulamaları, s.13-14.

Arslanboğa, K., 2018. İş Sağlığı ve Güvenliği Tarihsel Süreci: Türkiye Örneği (S. Kanten Editör). İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetimi, 1.baskı, Nobel Kitabevi, Ankara, s.63-70.

Arntz, M., Gregory, T. and Zierahn, U., 2016. The Risk of Automation for Jobs in OECD Countries: A Comparative Analysis. OECD Social, Employment and Migration Working Papers (No:189), OECD Publishing, Paris.

Arthur, J., 2006. Ground Control in Coal Mines in Great Britain. Coal Operators' Conference. University of Wollongong. Australia, pp.10–19.

Avrupa Birliği Bakanlığı. Sosyal, Bölgesel ve Yenilikçi Politikalar Bakanlığı. Sanayi 4.0 Bilgi Notu Ocak 2018, s.2.

Aydın, Y. ve Barış, K., 2015. Yeraltı Kömür Ocaklarında Gaz İzleme Aağları Sensör Ölçümlerinin ve Konumlarının Doğruluğunun Analizi: TTK Kozlu Müessesesi. Madencilik Dergisi, 54(2), s.20-21.

Aytaç, S., Özok, A.F., Yamankaradeniz, N., Akalp, G., Çankaya, O., Gökçe, U. ve Tüfekçi, U., 2017. İSG Kültürü Oluşmasında Metal Sanayisinde Çalışan Kadınların Risk Algısı Üzerine Bir Araştırma. Mühendislik Bilimler ve Tasarım Dergisi, 5(ÖS: Ergonomi 2016), s.61.

Badri, A., Boudreau-Trudel, B., Souissi, A., S.,2018. Occupational Health and Safety in the Industry 4.0 Era: A Cause for Major Concer. Safety Science 109, pp.403-404.

Bassan, J., Knights, P. ve Farrelly, C., 2008. A Day In The Life Of A Mine Worker In 2025. First International Future Mining Conference, At Sydney, pp.1-8.

Bağcı, E., 2018. Endüstri 4.0: Yeni Üretim Tarzını Anlamak. Gümüşhane Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, 9(24), s.133.

Banger, G., 2016. Endüstri 4.0 ve Akıllı İşletme. Dorlion yayinlari: Ankara.

Banger, G., 2017. Endüstri 4.0 Ekstra. Dorlion Yayınları: Ankara, s.46.

Banger, G., 2018. Endüstri 4.0 Uygulama ve Dönüşüm Rehberi. Dorlion Yayınları: Ankara, s.20.

Bandyopadhyay, L.L., Chaulya, S.K. and Mishra, P.K., 2009. Wireless Information and Safety System.for Mines. Journal of Scientific and Industrial Research 68(2), pp.175-262.

BARCOM, Geosight Cavity Monıtoring System, https://www.barkomas.com. Erişim Tarihi:3.12.2020.

Başak I., 2002. "On The Use Of Information Criteria In Analytic Hierarchy Process". European Journal Of Operational Research, 141(1), s.200-216.

Bektaş, F. ve Sondaş, A., 2016. RFID Modülü ile Kapı Giriş-Çıkış Takip Sistemi Uygulaması. Düzce Üniversitesi Bilim ve Araştırma Dergisi, 4(2016), s.603.

Bertayeva, K., Panaedova, G., Natocheeva, N., Kulagovskaya T. ve Belyanchikova, T., 2019. Industry 4.0 In The Mining Industry: Global Trends and Innovative Development. E3S Web of Conferences 135, 04026, pp.5-6.

Biçer, E., 2007. İş Kazalarının Nedenleri Maliyeti ve Önlenmesi Üzerine Çalışma. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, s.21.

Bieniawski, Z.T., 1979. The Geomechanics Classification in Rock Engineering Applications. Proceeding ISRM 4th International Congress on Rock Mechanics, Montreux. Balkema, Boston. Capter 5, p.55-95.

BDC (2017). BDC Study, Industry 4.0: The New Industrial Revolution, Are Canadian Manufacturers Ready. Industry 4.0: The New Industrial Revolution | BDC Study (bridgr.co).

Bhutta, K.S. ve and Huq, F., 2002. "Supplier selection problem: A comparasion of the Total Cost of Ownership and Analythich Hierarchy Process Approaches", Supply Cahin Management: An İnternational journal, 7(3), pp.126-135.

Bilim, N., 2020. Acil Durum Planı Nasıl Hazırlanır? Nobel Yayınevi,1 Baskı, Ankara, s.52-53.

Bilir, N., 2016. İş Sağlığı ve Güvenliği Profili, Türkiye. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO), Ankara, s.92.

Bortolini, M., Ferrari, E., Gamberi, M., Pilati, F. and Faccio M., 2017. Assembly System Design In The Industry 4.0 Era: A General Framework. IFAC Papers Online, 50-1(2017), pp.5700–5705.

Bozkurt, E., 2001. Neotectonics of Turkey-a synthesis, Geodinamica Acta, 14, s.3-30.

Bragança, S., Costa, E., Castellucci, I. and Arezes, M.P., 2019. A Brief Overview of The Use of Collaborative Robots In Industry 4.0: Human Role and Safety. Occupational And Environmental Safety And Health, Studies In Systems, Decision and Control Book Series (SSDC, Volume: 202), pp.641-643.

Brettel, M., Friederichsen, N., Keller, M. ve Rosenberg, M., 2014. "How Virtualization, Decentralization and Network Building Change The Manufacturing Landscape: An Industry 4.0 Perspective", World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of

Mechanical, Aerospace, Industrial, Mechatronic and Manufacturing Engineering (8), pp.39.

Brundrett, S., 2014. Industry Analysis of Autonomous Mine Haul Truck Commercialization, Project Submitted in Partial Fulfillment of The Requirements for The Degree of Master of Business Administration, in the Management of Technology Program of the Faculty of Business Administration, Simon Fraser University, pp.11-14. Columbia.

BS 8800, 1996. "Guide to Occupational Healt and Safety Management Systems", British Standartization Institute – BSI.

Bulut, E. ve Akçacı, T., 2017. Endüstri 4.0 ve Inovasyon Göstergeleri Kapsamında Türkiye Analizi. ASSAM Uluslararası Hakemli Dergi, 4(7), s.57.

Camkurt, M.Z., 2013. Çalışanların Kişisel Özelliklerinin İş Kazalarının Meydana Gelmesi Üzerine Etkisi. TÜHİS İş Hukuku ve İktisat Dergisi, 24(6).

Cao D., Leung L. ve Law J., 2008. "Modifying Inconsistent Comparison Matrix in Analytic Hierarchy Process: A Heuristic Approach". Decision Support Systems, 44(4), pp.944.

Carlson C ve Fuller R., 1996. Fuzzy Multiple Criteria Decision Making: Recent Developments. Fuzzy Sets and Systems, 78(2), pp.139-153.

Chen, S., Xu, H., Liu, D., Hu, B., ve Wang, H., 2014. A Vision of IoT: Applications, Challenges and Opportunities with China Perspective. IEEE Internet of Things journal, 1(4), pp.349-359.

Council for Science and Technology, 2010. Japan's Science and Technology Policy Report, http://www8.cao.go.jp/cstp/english/basic/4th-BasicPolicy.pdf, Erişim Tarihi:23.10.2020.

Cory W.T.W. (Bill), 2005. Fans & Ventilation: A Practical Guide, The McGraw-Hill Companies. Published by Elsevier in association with Roles & Associates, pp.2.

Cotrino, A., Sebastian, M.A. and Gaya-Gonzales, C., 2020. Industry 4.0 Roadmap: Implementation for Small and Medium- Sized Enterprises. Applied Science 10(23), pp.1-2-3.

Coşar, Ş., 2012. Toplu Çalışma Alanlarında Biyolojik Ajanlar ve Çalışan Üzerine Etkileri Önleme Yöntemleri. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, s.42, Ankara.

Curran, K. and Norrby, S., 2009. "RFID-Enabled Location Determination Within Indoor Environments". International Journal of Ambient Computing and Intelligence, 1(4): 63, pp.86.

Çavur, M., 2018. Yeraltı Maden İşçilerini Gerçek Zamanlı Takip Etmek için RFID Teknolojisine Dayalı Özgün Bir Entegrasyon Metodolojisi. Politeknik Dergisi, 21(3), s.604-605.

Çavur, M. ve Demir, E., 2017. Kapalı alanlarda RFID Teknolojisi ile Anlık Konumlandırma Metodolojisi. 25. Sinyal İşletme ve İletişim Uygulamaları Kurultayı.

Çakmak, S.M., 2019. OHSAS 18001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sisteminden ISO 45001 Yönetim Sistemine Geçişteki Farklılıklar Üzerine Bir İnceleme. Okan Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.38.

Çakır, A.K., 2018. Makine Bazlı Risk Değerlendirmesi.Sürdürülebilir Mühendislik Uygulamaları ve Teknolojik Gelişmeler Dergisi, 1(1), s.6.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Eğitim ve Araştırma Merkezi (ÇASGEM) 2018. İş Sağlığı ve Güvenliği ILO Standartları, Ankara, s.127-131.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (2018). İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, Maden Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Gözetim Rehberi, s.42.

Çelikbilek, Y. ve Özdemir, M., 2020. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri. Atlas Akademik Basım, Ankara, s.69-72.

Çırakoğlu, S., Taşçı, H., Saklangıç, U., Kaya, Ç., Yamankaradeniz, N. ve Kılık, E., 2019. Endüstri 4.0'ın İş Sağlığı ve Güvenliğine Etkileri. Yangın Güvenlik ve Koruma Sistemleri Dergisi 26(207), s.21.

Çiçek, Ö. ve Öçal, M., 2016. Dünyada ve Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliği Tarihsel Gelişimi. Hak-İş Uluslararası Emek ve Toplum Dergisi, 5(11), s.115-117.

Çögenli, M. Z. ve Özer, M., 2017. İş Kazalarını Önlemede Güvenlik Kültürü. 2 And International Congress on Political Economic and Social Studies (ICPESS), pp.65.

Dağlı, A.B., 2016. Yeraltı Kömür Ocaklarında Patlayıcı Kullanımının İş Sağlığı ve Güvenliği Yönünden İncelenmesi. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Ankara, s.11.

Dağdeviren M., Eraslan E., Kurt M. ve Dizdar, E.N., 2005. "Tedarikçi Seçimi Problemine Analitik Ağ Süreci ile Alternatif Bir Yaklaşım". Teknoloji Dergisi, 8(2), s.115-122.

Davies, R., Coole, T. and Smith A., 2017. "Review of Socio-Technical Considerationsto Ensure Successful Implementation of Industry 4.0". Procedia Manufacturing, pp.11.

Davutoğlu, N.A., Akgül, B. ve Yıldız, E., 2017. İşletme Yönetiminde Sanayi 4.0 Kavramı ile İlgili Farkındalık Oluşturan Etkin Bir Şekilde Değişimi Sağlamak. Akademik Sosyal Araştırmalar Dergisi, 6(22), s.547.

Derya, H., 2018. Endüstri Devrimleri ve Endüstri 4.0. G.Ü. İslâhiye İİBF Uluslararası E-Dergi, 2(2), s.17.

Demirci, A., Sül, Ö.L. ve ElevIP, B., 1996. Taban ve Tavan Arınlı Dolgulu Üretim Yöntemlerinde LHD Kullanımın Üretim Maliyeti Üzerindeki Etkileri ve Maliyetlerin Tespit Edilmesine Yaklaşımlar. Madencilik Dergisi, 2, s.20.

Devlet Planlama Teşkilatı (DPT), 2001. Madencilik Özel İhtisas Komisyonu Raporu. Metal Madenler Alt Komisyonu, Kurşun-Çinko-Kadmiyum Çalışma Grubu Raporu, Ankara, s.17.

Dikkaya, M., Gençer, Ü. ve Aytekin, İ., 2018. Endüstri 4.0 Devriminin Ekonomik Etkileri Üzerine.12. Uluslararası Kamu Yönetimi Sempozyumu. Türkiye'de Toplum, Yerleşim ve Yönetim Tartışmaları, s.868.

Dijital Döüşüm ve Madencilik Sektörü. (https://www.endustri40.com)

Direk, C., 2016. 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, s.15-31.

Doğru, N.B. ve Meçik, O., 2018. Türkiye'de Endüstri 4.0'ın İşgücü Piyasasına Etkileri: Firma Beklentileri. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, (C:4, Endüstri 4.0 ve Örgütsel Değişim Özel Sayısı), s.1587-1601.

Doğan, O. ve Baloğlu, N., 2020. Endüstri 4.0 Kavramsal Farkındalık Ölçeği.KMÜ Sosyal ve Ekonomik Araştırmalar Dergisi, 22(38), s.76.

Durdu, A., 2006. İşçi Sağlığı ve Güvenliği Düzenlemeleri ile İlgili İş Görenlerin Tutumlarını Belirlemeye Yönelik Bir Araştırma. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı İnsan Kaynakları Yönetim Bilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.23-24.

Durmuş, A., 2019. Endüstri 4.0, Eğitim 4.0, Liderlik 4.0, Toplum 5.0. İstanbul. Efe Akademi Yayınevi, s.10.

Dülger, Ü., 2016. Büyük Veri Nedir? .Yeni Türkiye Dergisi, 22(88), s.503-508.

Eades, R.Q. ve Perry K., 2019. Understanding the Connection Between Blasting and Highwall Stability. International Journal of Mining Science and Technology, 29(2019), pp.99.

Ege Bölgesi Sanayi Odası Araştırma Müdürlüğü, 2015. "Sanayi 4.0" EBSO. www.ebso.org.tr/ebsomedia/documents/sanayi-40_88510761.pdf, s.13-35.

Emmrich, V., Döbele, M., Bauernhansl, T., Paulus-Rohmer, D., Schatz, A. and Weskamp, M., 2015. Geschäftsmodell-Innovation Durch Industrie 4.0 Chancen und Risiken für den Maschinen- und Anlagenbau. Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA, pp.14.

Emir, E., 2017. Kaya Mekaniği Ders Notları. Eskişehir Osmangazi Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, s.11-13.

Endüstriyel Sistemlerde Optimizasyon, 2017. Sanayide Enerji Verimliliğinin Artırılması Projesi, Fan Sistemleri. http://www.scribd.com, Erişim Tarihi: 21.05.2020.

Ercan, T. ve Kutay, M., 2016. Endüstride Nesnelerin İnterneti (IoT) Uygulamaları. Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimler Dergisi, 16(3), s.599-606.

Erkal, G. ve Konuksevem, E.İ. 2007. Türkiye'de Makina Sektöründe CE işaretlemesi ve AB Uyumu Konusunda Durum Değerlendirme Çalışması. Mühensilik ve Makine Degisi, 48(574), s.4.

Erginbaş, E., 2010. Avrupa Birliği'nin Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliğine Etkisi, İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Çalışma Ekonomisi Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.18-23.

Eser, D., 2016. İş Sağlığı ve Güvenliğinde İşçi ve İşveren Dışındaki Aktörlerin Rolü. Ekin Basım, Bursa, s.5-6.

Erdinç, Z.,1999. Küreselleşmenin İstihdama Etkileri. Dumlupınar Üniversitesi Sosyal Bilimler Dergisi, (3), s.116.

Ershadi, J.M. and Ershadi, M., 2018. İmplementation of Failure Modes and Effects Analysis in Detergent Production Companies: A Case Study. Environmental Quality Management, 27(11), pp.1-3.

Erşen, F., 2013. Eski Gümüşhane (Gümüşhane/Merkez) ManganezYataklarının Mineralojik ve Jeokimyasal Özelliklerinin İncelenmesi, Gümüşhane Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, Gümüşhane, s.21.

Evren, R., 1992. Yönetimde Karar Verme. Teknik Üniversite Matbaası. İstanbul, s.49.

Farrelly, C.T. and Records, L.R., 2007. Remote Operations Centres-Lesson from Other Industries. Australian Mining Technology Conference, 2-4 October 2007, pp.65.

Fırat, S.Ü. ve Fırat O.Z., 2017a. Dördüncü Sanayi Devriminde Riskler Robotlar ve Yapay Zekanın Yönetişim Sorunları. Global Sanayici: Ekonomi ve İş Dünyası Dergisi, 8(81), s.69.

Fırat, Ü.S. ve Fırat, Z.O., 2017b. Sanayi 4.0 Devrimi Üzerine Karşılaştırmalı Bir İnceleme: Kavramlar, Küresel Gelişmeler ve Türkiye. Toprak İşveren Dergisi, 114(2017), s.4.

Frey, C.B. and Osborne, M.A., 2013. The Future of Employment: How Susceptible are Jobs to Computerization?. University of Oxford.

Galin, R. and Meshcheryakov, R., 2019. Automation and Robotics in The Contextof Industry 4.0: The Shift to Collaborative Robots. IOP Conference Series: Material Science and Engineering 537, pp.4.

Garcia-Cascales M.S. ve Lamata M., 2009. "Selection Of A Cleaning System For Engine Maintenance Based On The Analytic Hierarchy Process". Computers & Industrial Engineering, 56(4), pp.1446-1451.

Gartner, "Gartner's Top 10 Strategic Technology Trends for 2017", Oct. 2016, Gartner Identifies the Top 10 Strategic Technology Trends for 2017.

Geissbauer, R., Schrauf, S., Berttram, P. and Cheraghi, F., 2017. Digital Factories 2020: Shaping The Future Of Manufacturing. Published By Price Water House Coopers,https://www.pwc.de/de/digitaletransformation, Erişim Tarihi:22.09.2020.

Geosight, 2014. Madencilik ve Yer Bilimler Dergisi, 5(42), s.30.

Gönen, S., Yılmaz, E.N., Şanoğlu, S., Karacayılmaz, G. ve Özbirinci, Ö., 2021. Endüstri 4.0'ın Gelişim Sürecinde Unutulan Bileşen: Siber Güvenlik. Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 9, s.1145.

Gökçeoğlu, C., 1997. Killi, Yoğun Süreksizlik İçeren ve Zayıf Kaya Kütlelerinin Mühendislik Sınıflamasında Karşılaşılan Güçlüklerin Giderilmesine Yönelik Yaklaşımlar. Doktora Tezi, Hacettepe Üniversitesi.

Grimstad, E. and Barton, N., 1993. Updating of the Q-System for NMT. Proceedings of the International Symposium on Sprayed Concrete, Fagernes, 22-26 October 1993, p.946-66.

Gu, Y., Lo, A. and Niemegeers, I., 2009. "A Survey of Indoor Positioning Systems for Wireless Personal Networks". IEEE Communications Surveys and Tutorials, 11(1), pp.13-32.

Gupta, N., Mudgal, K. ve Kumar, D., 2013. Automation and Caommunication in Mining. Conference: Present Technology and Safety Scenario in Mining and Allied Industries (PTSM-2013), pp.1-7.

Golosinski, T., S., 2001. Use of The Internet and Information Technology in Mining. 17 International Mining Congress and Exhibition of Turkey-IMCET2001, pp.11-15.

Güner, M., Yücel, Ö., 2007. Konfeksiyon Üretiminde Temel Kriterlerin Hiyerarşik Modellenmesi ile Üretilecek En Uygun Ürünün Belirlenmesi. Gazi Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 22(1), s.73-79.

Güney, C., Sayın, B.S. ve Sayın, B., 2017. Yeraltı Madenlerinde Robotik Ölçme Sistemi ile Yapısal Deformasyonların Yapısal İzlenmesi. TMMOB Harita

ve Kadastro Mühendisler Odası. 16. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı, 3-6 Mayıs. Ankara, s.99-110.

Gürleyen, A., 2016. Sığınma Odalarının Yeraltı Metal Madenlerinde Kullanımının Araştırılması. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü. İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Ankara, s.1.

Gürtunca, R.G., 2009. Safety and Health Regulatory Changes and Technology Development in U.S. Coal Mining, pp.2-13.

Hanbay, K. ve Üzen, H., 2017. Nesne Tespit ve Takip Metotları: Kapsamlı Bir Derleme. Türk Doğa ve Fen Dergisi, 6(2), s.41.

Health and Safety Executive, 2004. Investigating Accidents and Incidents, A Work Book for Employers, Unions, Safety Representatives and Safety Professionals, Investigating accidents and incidents: A workbook for employers, unions, safety representatives and safety professionals HSG245 (hse.gov.uk), pp.5.

Hofmann, E. ve Rüsch, M., 2017. "Industry 4.0 and The Current Status as well as Future Prospects on Logistics". Computers in Industry, (Volume:89), pp.23–34.

Humphreys, D., 2019. Mining Productivity and The Future Industrial Revolution. Mineral Economics, pp.1-11.

Hyder, Z., Siau, K., Fui, F. ve Nah, H., 2018. Use of Artificial Intelligence. Machine Learning and Autonomous Technologies İn The Mining Industry.

Personal Protective Equipment Guideline, Safety, Health and Wellbeing. The University of Western Australi.Erişim Adresi: https://www.safety.uwa.edu.au/

Proceedings of the Thirteenth Midwest Association for Information Systems Conference. Saint Louis, Missouri May 17-18, pp.1.

Russell, S. & Norvig, P., 2003. “Artificial Intelligence A Modern Approach”. Pearson Education Inc, ISBN:0-13- 080302-2, second edition, USA, pp.1081.

IAB, 2016. Industry 4.0 – Job- Producer or Employment- Destroyer?, pp.5.

Indra, 2019. Digital Transformation: Risks And Opportunities For Occupational Safety,https://www.indracompany.com/en/blogneo/digital-transformation-risks-opportunities-occupationalsafety, Erişim Tarihi:22.11.2019.

Industry 4.0: Building the Digital Enterprise, 2016. Industrial Manufacturing Key Findings.Erişim Adresi: https://www.smartindustry.com, pp.2-4.

Ishizaka, A. ve Nemery, P., 2013. Multi-Criteria Decision Making: Methods and Software. John Wiley and Sons, Ltd, United Kingdom.

ISRM (International Society of Rock Mechanics), 1981.ISRM Suggested Method: Rock Characterization, Testing and Monitoring. E.T. Brown (ed.), Pergamon Press, London, 211pp.

Işık, G., 2007. “İş Sağlığı ve İş Güvenliği–Gelinen Sürece TMMOB ve Odalar Açısından Bakış”. İş Sağlığı ve Güvenliği Bildiriler Kitabı, Yayını, Ekim: İstanbul, s.275–276.

İmre, E., 1971. Kapalı Kömür Madeni İşletmeciliğinde Teknolojik Gelişme. Bilimsel Madencilik Dergisi, (Sayı:1), s.47-48.

İşyerlerinde Acil Durumlar Hakkında Yönetmelik. (2013, 18 Haziran). Resmî Gazete (Sayı:28681). Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü (resmigazete.gov.tr).Erişim Tarihi: 03.04.2020.

İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Yönetmeliği (2012, 29 Aralık). Resmî Gazete (Sayı:28512).http://www.mevzuat.gov.tr. Erişim Tarihi: 25.09.2019.

İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. (2012, 20 Haziran). Resmî Gazete (Sayı:28339) http://www.mevzuat.gov.tr/.Erişim Tarihi: 25.09.2019.

Jabbour, A.B.L. S., Jabbour, C.J.C. and Filho, C. F.M.G., 2018. “When Titans Meet – Can Industry 4.0 Revolutionise? The Role of Critical Success Factors”. Technological Forecasting and Social Change (132), pp.20.

Javad, R.M. and Mohammad, A., 2014. Application of Analytical Hierarchy Process to Selection of Primary Crusher. International Journal of Mining Science and Techology, pp.519-523.

Jıang, B. C. and Gainer, C.A.Jr., 1986. A Cause and Effect Analysis of Robotic Accident. Journal of Occupational Accident, 9 (1987), pp.37-45.

Karakaplan, E., 2019. Tünel Destekleme Önerileri İçeren Kaya Kütle Sınıflama Sistemlerinin Değerlendirilmesi. 2. Uluslararası Türk Dünyası Mühendislik ve Fen Bilimler Kongresi AT: Antalya.

Kagermann, H., Wahlster.W. and Johannes, H., 2013. Recommendations for Implementing the Strategic Initiative Industrıe 4.0. Forschungsunion, Final Report of the Industrie 4.0 Working Group. National Academy of Secince and Engineerin, pp.6-29.

Kahraman, M.F., 2012. Ergonomik Risk Değerlendirme Yöntemlerinin Çok Ölçütlü Karar Verme Teknikleri ile Önceliklendirilmesi ve Bütünleşik Bir Model Önerisi. Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Ankara, s.2.

Kahraman, E. ve Kılıç, A.M., 2016. Madenlerde Delme Patlatma İşlemlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Önlemleri, 1st.International Mediterranean Science and Engineering Congress (IMSEC 2016), Octobar 26-28 Adana/ Turkey, s.2699.

Kamber, E. ve Bolatan, G.İ.S., 2019. Endüstri 4.0 Türkiye Farkındalığı. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 11(30), s.838.

Karapınar, N., 2018. Madencilik Endüstrisinde İnovasyon. Madencilik ve Yer Bilimler Dergisi, (Sayı:68), s.102.

Karagiannidis A., Papageorgiou A., Perkoulidis G., Sanida G. ve Samaras P., 2010. "A Multi-Criteria Assessment of Scenarios On Thermal Processing of Infectious Hospital Wastes: A Case Study For Central Macedonia", Waste Management, 30(2), pp.251-262.

Karaca, S., 2010. Rfid Teknolojisi ile Anlık Personel Takip Sistemi. T.C. Maltepe Üniversitesi Fen Bilimleri Enstirüsü Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.11-17.

Kardam A., 2001. Karar Alma: Harvard Business Review Dergisinden Seçmeler. Türkiye Metal Sanayicileri Sendikası, İstanbul, s.5.

Kazakidis, V.N., Mayer, Z., Scoble, M.J., 2004. Decision Making Using the Analytic Hierarchy Process in Mining engineering. Mining Technology, 113 (1), pp.30–42.

Keçeci, Ş., 2019. 2010-2016 Yılları Arasında Türkiye'de Beklenen ve Tespit Edilen Meslek Hastalıkları Sayılarının Karşılatılması. Ankara Sağlık Hizmetleri Dergisi, 18(2), s.59.

Keskin, M.Ö., 2017. Otonom Madencilik; Teknoloji ve Riskleri. Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu 02 – 03 Kasım, Adana, s.168-170.

Klein, M., 2020. Dıgıtal Trnasformatin Scenarios of Businesses- A Conceptual Model Proposal. Electronic Jounrnal of Social Science, 19(74), pp.1014.

Kılıç, A.M. ve Aydın, S., 2019. Madenlerde Kullanılan Sığınma Odalarının 1/10 Ölçekli Prototip Modeli Tasarımı. Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu 03 – 04 Ekim, Adana, s.220-221.

Kılıç, A.M., Tosun, M. ve Kahraman, E., 2016. Yeraltı Krom İşletmesinde Acil Durum Planına Yönelik Bir Uygulama. Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Dergisi 31(ÖS), s.64.

Kılkış, Ö., 2018. İş Sağlığı ve Güvenliği. Ezgi Matbaacılık: Bursa, s.10-11.

Kızıl, M.S., Kızıl, G., Tatar, Ç. ve Köse, H., 1995. Madencilikte İleri Teknolojinin Kullanımı. Madencilik/ Haziran 1995, s.40-45.

Kocal, F. ve Özçelik, Y., 2002. Kömür madenciliğinde Uzaktan İzleme ve Kontrol Sistemleri ve Kozlu (TTK-Zonguldak) Müessesindeki Uygulamalar. Türkiye 13. Kontur Kongresi Bildiriler Kitabı, Zonguldak, s.357-370.

Koçak, O. ve Koray, N., 2018. İş Sağlığı ve Güvenliği Konusunda Avrupa Birliği Uygulamaları ve Türkiye'ye Yansımaları. Uluslararası Toplum Araştırma Dergisi, 8(15), s.1785.

Koçali, K.,2017. Açık Ocak Maden İşletmelerinde İşçi Anketleri ile İş Sağlı ve Güvenliği Kültürü ve Uygulamasının Araştırılması. Bilimsel Madencilik Dergisi, 57(1), s.17.

Koçali, K.,2016. Madencilik Sektörüne Yönelik İşçi Anketleri ile İSG Kültürü ve Uygulamasının Araştırılması. İstanbul Aydın Üniversitesi Fen Bilimler Enstitüsü. Yüksek Lisans Bitirme Projesi, İstanbul.

Kol, İ., 2016. İş Sağlığı ve Güvenliğinde Operasyonel Disiplin. Gedik Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.45.

Korkut, G. ve Tetik, A., 2013. 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun Getirdiği Yenilikler ve Temel Sorunlar. Süleyman Demirel Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Dergisi, 18(3), s.456-457.

Korkmaz, S., Baki, Z., 1984. Demirözü (Bayburt) Yöresinin Stratigrafisi. Türkiye Jeoloji Bülteni, (5), s.107-115.

Leso, V., Fontana, L. and Lavicoli, I., 2018. The Occupational Health And Safety Dimension Of Industry 4.0. Medicina del Lavoro, 110(5), pp.327-338.

Liere-Netheler, K., 2017. Analysis of Adoption Processes in Industry 4.0. In STPIS@ CAiSE, pp.83-89.

Li, J. and Zhan, K., 2018. Intelligent Mining Technology for an Underground Metal Mine Based on Unmanned Equipment, Beijing General Research Institute of Mining and Metallurgy, Beijing 100160, China, pp.1-13.

Lööw, J., Abrahamsson, L., Johansson, J., 2019. Mining 4.0—The Impact of New Technology from a Work Place Perspective. Min. Metall. Explor, 36(4), p.701–707.

Lu, Y., 2017. Industry 4.0: A Survey on Technologies, Application and Open Research İssues. Journal of Industrial Information Integration, 6, pp.1.

Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde Değişiklik Yapılması Hakkında Yönetmelik, (2016, 24 Mart Perşembe). Resmî Gazete, (S:29663). Başbakanlık Mevzuatı Geliştirme ve Yayın Genel Müdürlüğü (resmigazete.gov.tr) Erişim Tarihi: 30.10.2020.

Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, (2013, 19 Eylül Salı), Resmî Gazete, (28770). (Mevzuat Bilgi Sistemi) Erişim Tarihi:12.07.2021.

Maden Mühendisleri Odası (TMMOB), 2021, Madencilikte Yaşanan İş Kazaları Raporu (2010-2020), s.23.

Haiss, P., Mahlberg, B. and Michlits, D., 2021. Industry 4.0-The Future of Austrain Jobs. Empiricia, 48(6), pp.1.

Makal, A., 1999. Türkiye Tek Partili Dönem Çalışma İlişkileri, İstanbul, İmge Kitabevi, Aralık 1999, s.323.

Mallı, T., Kun, M. ve Köse, H., 2014. Yeraltı Kömür İşletmelerinde Gaz İzleme ve Erken Uyarı Sistem Teknolojisinin İş Kazalarının Önlenmesindeki Önemi. Dokuz Eylül Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Mühendislik Bilimleri Dergisi,16(46), s.60-67.

Mamat, H.S., 2014. Metal Madenciliğinde Yeraltı Açıklıklarının Tahkimat ve Nümerik Yöntemler ile Analizi. İTÜ Fen Bilimler Enstitüsü Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.11.

Matysek, A.L. ve Fisher, A.S., 2016. Productivity and Innovation in the Mining Industry. BAE Research Report 2016.1, pp.40-42.

Mason, E.,1954, Practical Coal Mining, Virtue, Vol. 1-2, pp.787.

Meng, L., Jiang, Y.D., Zhao, Y., Shan, R. and Song, Y., 2011. Probing İnto Design Of Refuge Chamber System İn Coal Mine. Procedia Engineering, 26, pp.2334-2341.

Merve, S. ve Gürcanlı, G.E., 2018. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği (İSİG) Sisteminin İnşaat Uygulama İş Programına Entegrasyonu. Beykent Üniversitesi Fen Bilimler Dergisi, 11(2), s.22.

Minalliance-The Quebece Mining Industry's Association, 2012. 100 Innovation in the Mining Industry. Montreal, pp.59-69.

Mrugalska, B. and Wyrwicka, M.K., 2017. Towards Lean Production in Industry 4.0. Procedia Engineering, (182), pp.466–473.

Murphy, J. N., 1985. Remote Control Promises Safety and Productivity Gains. Coal Min1985 Oct;22(10), pp.38-42.

Mutlu, M. ve Sarı, M., 2017. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Madencilik Sektöründe Kullanımı. Bilimsel Madencilik Dergisi, 56(4), s.181-196.

Nadeau, S., Badri, A., Wells, R., Neumann, P., Kenny, G., 2013. Sustainable Canadian Mining: Occupational Health and Safety Challenge. Proceedıngs of the Human Factors and Ergonomıcs Socıety 57th Annual Meetıng, pp.1071-1073.

Nitz, J., 2014. Towards The Future of Automated Operations, Geospatial World Magazine, Mining/Automation, pp.30-32.

Nurdoğan, A.K., 2018. Uluslararası Çalışma Örgütünün (UÇÖ-ILO) Yüzüncü Yıl Dönümü ve Türkiye İlişkileri. Bitlis Eren Üniversitesi Akademik İzdüşüm Dergisi, 3(4), s.93.

Nuroğlu, E. ve Nuroğlu, H., H., 2018. Endüstri 4.0'ı Türkiye'nin Dış Ticareti İçin Bir Fırsat Penceresine Dönüştürmek. Yönetim ve Ekonomi Araştırmaları Dergisi (Cilt16, Özel Sayı), s.330-331.

OHSAS 18001, 1999. Occupational Health and Safety Management. OHSAS 18001: Occupational Health and Safety Management Systems (OHSMS) (isoupdate.com).

Okutan, O., 2006. Yapay Zekâ ile Mobil Robot Kontrolü. İstanbul Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul, s.21.

Oswald, G., and Krcmar, H. (Eds.), 2018. Digitale Transformation: Fallbeispiele und Branchenanalysen. Springer-Verlag.

Önder, M., Önder, Ç. ve Çakır, B., 2019. Adularya Yeraltı Maden Ocağında Bilgisayar Destekli Havalandırma Tasarımı. Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 34(2), s.27-28.

Ömürbek, N., Makas, Y. ve Ömürbek, V., 2015. AHP ve Topsis Yöntemleri ile Kurumsal Proje Yönetim Yazılım Seçimi. Süleyman Demirel Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, 1(21), s.70-71.

Önder, G. ve Önder, E., 2018. Analitik Hiyerarşi Süreci. Dora Yayıncılık: Bursa, s.22.

Özbek, A., 2017. Çok Kriterli Karar Verme Yöntemleri ve Excel ile Problem Çözümü. Seçkin Yayıncılık: Ankara, s.71-72.

Özbek, A. ve Eren, T., 2012. Üçüncü Parti Lojistik (3PL) Firmanın Analitik Hiyerarşi Süreciyle (AHP) Belirlenmesi. Inernational Journal of engineering Research and Chemisty, 4(2), s.46-54.

Özdemir, L., Erdem, H., Kalkın., G., 2016. Kamu Çalışanlarının Güvenlik İklimi Algılarının İş Tatmini ve İş Performansı Üzerine Etkisi, Süleyman Demirel Üniversitesi Vizyoner Dergisi, 7(15), s.60.

Özfırat, M. K., 2009. Robotik Sistemler ve Madencilikte Kullanımının Araştırılması. TUBAV Bilim Dergisi, 2(4), s.412-425.

Özveri, M., 2015. İşçi Sağlığı, İş Güvenliği ve İş Cinayetleri. Birleşik Metal- İş Yayınları: İstanbul, s.66-67.

Pehlivan, H., 2019. Robotik Total Station ve GNSS Ölçümlerinin Analizi. Erzincan Üniversitesi FBE Dergisi 12(2), s.1020-1021.

Öztürk, S., 2017. Gümşhane ve Civarında Güncel Deprem Aktivitesinin Bölgesel ve Zamana Bağlı Değişimleri: İstatistiksel Bir Değerlendirme. GÜFBED, 7(1), s.29.

Palmström, A., 1985. Application of the volumetric joint count as a measure of rock mass jointing, Proc. Int. Symp. on Fundamentals of Rock Joint, Sweden, p.103-110.

Petrillo, A., De Felice, F., Cioffi, R., and Zomparelli, F., 2018. Fourth Industrial Revolution: Current Practices, Challenges, and Opportunities. Digital Transformation in Smart Manufacturing, (CC BY 3.0), p.1.

Pessl, E., Sorko, S.R. and Mayer, B., 2017. Roadmap Industry 4.0-Implementatin Guideline for Enterprises. International Journal Science, Technology and Society 5(6), pp.193-202.

Phua M.-H. ve Minowa M., 2005. "A GIS-Based Multi-Criteria Decision Making Approach To Forest Conservation Planning At A Landscape Scale: A Case Study In The Kinabalu Area, Sabah, Malaysia". Landscape and Urban Planning, 71(2-4), pp. 207-222.

Podgórski, D., 2015. Measuring Operational Performance of OSH Management System–A Demonstration of AHP-Based Selection of Leading Key Performance Indicators, Safety Science, 73, pp.146-166.

Polat, N.K. ve Didari, V., 2002. TTK Kilimli İşletmesinin Kazemaru Programı Kullanılarak Havalandırma Analizi. Türkiye 13 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, Zongıuldak, (13), s.378-380.

Prifti, L., Knigge, M., Kienegger, H., & Krcmar, H., 2017. A Competency Model for" Industrie 4.0" Employees.

Ralston, C J., Reid, D., Hargrave, C. and Hainsworth, D., 2014. Sensing For Advancing Mining Aoutomation Capability: A Review Of Underground

Automation Technology Development, 2014, International Journal Of Mining Science And Technology 24(2014), pp.305.

Ramsauer, C., 2013. Industrie 4.0-Die Production der Zukunft. WING business 3(2013), pp. 6-12.

Roberts, J., Corke, L.P., Duff, E.S., Cunningham, J., Sikka, P., Winstanley, G.J. and Cunningham J., 2000. Autonomous Control Of Underground Mining Vehicles Using Reactive Navigation. IEEE International Conference On Robotics And Automaton. February 2000.

Rodríguez, A., Ortega, O. and Concepción, R., 2016. A Method for The Evaluation Of Risk in IT Projects. Expert Systems with Applications, 45, pp.273-285.

Rio Tinto. (2018, Mart 7). Rio Tinto to expand autonomous truck operations to fifth Pilbara mine site. Erişim Adresi: https://www.riotinto.com/news/releases/Automated-truck-expansion Pilbara

Sabancı S. ve Sümer, S. K., 2011, Ergonomi. Nobel Yayınevi: Ankara, s.391-392.

Safar, L., Sopko, j., Dancakoca, D. and Woschank, M., 2020. Industry 4.0-Awareness in South India. Sustainability 2020, Industry 4.0 for SMEs-EU Horizon 2020 RISE Program, 12(8), pp.1-2.

Saltoğlu, S.,1979."Madenlerde Yeraltı Üretim Yöntemleri", İTÜ Kütüphanesi, (S:1151), İstanbul.

Saaty, T.L.,1980. The Analytic Hierarchy Prosess. New York: McGraw-Hill.

Satty, T.L., 2000. Fundamentals of Decision Making And Priorty Theory With The Analytic Hierarchy Process, (V:6), Rws Publications.

Sağıroğlu, C., 2018. Üretimde Dijital Dönüşüm, %1 içinde Bilişimle-Gelişim: Türkiye'de Dijital Dönüşüm, Ankara.

Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı (2019). 2023 Sanayi ve Teknoloji Stratejileri. https://www.sanayi.gov.tr. Erişim Tarihi:23.09.2020, 3s.

Sandvik., 2020. AutoMine equipment automation and teleoperation systems. Rock Technology Sandvik, Erişim Adresi: https://www.rocktechnology.sandvik.

Sayın, K., 2013. ILO Normlarının ve Örgütün Denetim Mekanizmasının Türk İş Hukukuna Etkisi. Çalışma Dünyası Dergisi, 1(1), s.13-16.

Sökmen, M.E., 2016. Yeraltı Madenlerinde Personel Takip ve Haberleşme Sistemlerinin İncelenmesi. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü İş Sağlığı ve Güvenliği Uzmanlık Tezi, Ankara, s.80.

Sağbaş, A. ve Gülseren, A., 2019. Endüstri 4.0 Perspektifinde Sanayide Dijital Dönüşüm ve Dijital Olgunluk Seviyesinin Değerlendirilmesi. Europan Journal of Engineering and Applied Science, 2(2), s.3.

Schumacher, A., Erol, S. and Sihn, W., 2016. A Maturity Model For Assessing Industry 4.0 Readiness And Maturity Of Manufacturing Enterprises. Procedia CIRP 52, pp.161–166.

Schofield, W. and Breach, M., 2007. "Engineering Surveying", UK, Elsevier Ltd., pp.622.

Selek, A., 2016. Endüstri Tarihinde Kısa Bir Yolculuk, Türkiye'nin Endüstri 4.0 Platformu.http://www.endustri40.com, Erişim Tarihi: 23.09.2020, s.1.

Selek, S.H., 2016. İş Sağlığı ve Güvenliği Temel Konular. Seçkin Basımevi. Ankara, s.12-14.

Sevim, M. ve Gürcanlı, G.E., 2018. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği (İSİG) Sisteminin İnşaat Uygulama İş Programına Entegrasyonu. Beykent Üniversitesi, Fen Bilimleri Dergisi (Cilt:11, Sayı:2), s.22.

Serin, S., Çuhadar, M.T., 2015. İş Güvenliği ve Sağlığı Yönetim Sistemi. Journal of Technical Sciences 2015(2), 53-54s.

Shahroodi, K., Keramatpanah, A., Shiri, E., Amini, S., Kamyar, S.H. and Mohammad N., 2012. Application of Analytical Hierarchy Process (AHP) Technique to Evaluate and Selecting Suppliers in an Effective Supply

Chain. Kuwait Chapter of Arabian Journal of Business Management Review, 1(8), PP.1-14.

Smith, M., 2008. MiningMethods in Underground Mining. Atlas CopcoRockDrills AB, Sweden, s. 150.

Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortalar Kanunu. (2006, 31 Mayıs). Resmî Gazete (Kanun No:5510) http://www.resmigazete.gov.tr Erişim Tarihi: 22.05.2019.

Sommer, L., 2015. Industrial Revolution- Industry 4.0: Are German Manufacturin SMEs the First Victims of This Revolution? Journal of Industrial Engineering and Management, 8(5), pp.1512.

Soylu, A., 2018. Endüstri 4.0 ve Girişimcilikte Yeni Yaklaşımlar. Pamukkale Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi, (Sayı:32), s.49-55.

Stephen, V.D., Luke, M., Peter, D. and Lan, O., 2013. Automated Bolting And Meshing on A Continuos Miner For Roadway Development. International Journal of Mining Science And Technology, 23(2013), pp.55.

Stanton Chase, 2017. 2017 Global Consumer Products and Services Surcey, https://www.stantonchase.com.

Şaroğlu, F., Emre, Ö., Kuşçu, İ. 1992. Active Fault Map of Turkey, 1:2,000,000 Scale. Mineral Research and Exploration Institute of Turkey (MTA) Publications, Ankara.

Şen, M., 2015. İş Sağlığı ve Güvenliği Kavramı, Tarihsel Gelişimi ve Dayanakları. MÜHFD C.4-1(2015), s.119-120.

Tabii Kaynaklar Dairesi Başkanlığı (TKDB) ve TOBB Türkiye Madencilik Meclisi, 2020, Türkiye Madencilik Gelişim Raporu. TOBB Yayın No:2021/25, s.36.

Taş, N., Okumuş, E., Öner, Ş., Köksal, C., İcat, M. Y., Tanış, S. ve Aslan, N., 2003. Gümüşhane il çevre durum raporu. Gümüşhane Valiliği İl Çevre ve Orman Müdürlüğü, Gümüşhane, s.179.

Tay, S.I., Chuan, L.T., Aziati, A.H.N. and Ahmad, A.N.A., 2018. An Overview of Industry 4.0: Definition, Components, and Government Initiative. Jour of ADV Research in Dynamical and Control System, 19(14-Special Issue), pp.1389.

Aksoy, C.O., 2017. Temel Madencilik Bilgileri. Kömür, E. ve Yaman, H.E. Editör, Mayeb Basım Yayın: Ankara, s.1039.

Tepe, S. 2021. The Impact of Indusrty 4.0 on Occupational Heatlh and Safety. Int.J.Afv.Eng.Pure Sci 33(1), pp.122.

Tercan, E.A., Ünver., Hindistan, A.M., Ural, S., Gazel, S., Hadımoğulları, A., 2017. Madencilik Faaliyetleri İzleme ve Otomasyon Sistemi. Madencilikte Yeni Eğilimler, Türkiye 25. Uluslararası Madencilik Kongresi Bildiri Kitabı, Antalya, s.325-330.

Thomas L. Saaty ve Luis G. Vargas, Models, Methods, Concepts and Applications Of The Analytic Hierarchy Process. Springer, 2001.

Timor, M.,2011. "Analitik Hiyerarşi Prosesi". Türkmen Kitabevi: İstanbul, s.16.

Topaloğlu, M., 2017. Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliğinden Doğan Hukuki Sorumluluk. Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu 02 – 03 Kasım, Adana, s.18.

Toker, K., 2018. Endüstri 4.0 ve Sürdürülebilirliğe Etkisi. İstanbul Management Journal, 29(84), s.51-64.

TÜSİAD, 2016. Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0 Gelişmekte Olan Ekonomi Perspektifi. Yayın No; TÜSİAD-T/2016-03/576, http://www.tusiad.org, Erişim Tarihi:23.10.2020, 33s.

TÜSİAD ve The Boston Consulting Group 2016. Türkiye'nin Küresel Rekabetçiliği İçin Bir Gereklilik Olarak Sanayi 4.0, s.13-14.

TÜSİAD, 2018. Türkiye'nin Dijital Dönüşümü. www.tubisad.org.tr.

Türk, A., Kartoğlu, C., Kırcı, B., Tos, K., Çabuk, G., Pırnal, S.C. ve Kurum, E., 2014. Akıllı Yeni Dünya: Dördüncü Sanayi Devrimi, https://issuu.com. ErişimTarihi:21.10.2020, s.2-3.

Türkiye Mühendisler ve Mimarlar Odası. Makine Mühendisleri Odası. Oda Raporu 2018. İş Sağlığı ve Güvenliği, Ankara, s.86.

Türkiye Barolar Birliği (TBB) 2014. Soma Maden Faciası Benzeri Kazaların Önlenmesine Yönelik Sistem ve Temel Mevzuat Önerileri Hakkında Rapor. Türk Barolar Birliği Yayınları (288), Ankara, s.72-73.

Türkmen, M.G., 2009. Arakatlı Göçertme Yönteminin Siirt Madenköy Bakır Yatağına Uygulanması. Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Yüksek Lisans Tezi, Adana, s.37-40.

Tüzemen A. ve Özdağoğlu A., 2007. "Doktora Öğrencilerinin Eş Seçiminde Önem Verdikleri Kriterlerin Analitik Hiyerarşi Süreci Yöntemi ile Belirlenmesi". Atatürk Üniversitesi İİBF Dergisi, 21(1), s.215-232.

TMOOB Makine Mühendisler Odası 2018. İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Oda Raporu, (689), s.39.

Üçüncüoğlu, A.G. ve Kömürlü, E., 2015. Osmanlı Dönemi Gümüşhane İli Madencilik Tarihine Genel Bakış. Yer Altı Kaynakları Dergisi, 5(9), s.97-98.

Ünsar, S. A., 2003. Türkiye'de İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Uygulamalarının Mevcut Durum ve Konuyla İlgili Yapılan Bir Araştırma. İstanbul Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü, İşletme Fakültesi Bölümü, Doktora Tezi, İstanbul, s.20-21.

Vuksanović, D., Vešić, J. and Korčok, D., 2016. Industry 4.0: The Future Concept and New Visions of Factory of Future Development. International Scientific Conference on ıct and e-business Related Research. Sınteza, s.293.

Yasım, K.Y., 2020. Industry 4:0 Future of the Work. Kırklareli Üniversitesi İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi Dergisi, 9(1), s.59.

Yaşlı, F., 2020. Yeraltı Madencilik Sektörü Mesleki Güvenlik Risk Analizi. İstanbul Teknik Üniversitesi İşletme Mühendisliği Anabilim Dalı İşletme Mühendisliği Programı. Doktora Tezi, İstanbul, s.208.

Yavuz, M., İphar, M., Önce, G., 2008. The Optimum Support Design Selection by Using AHP Method for the Main Haulage Road in WLC Tuncbilek Colliery. Tunnelling and Underground Space Techn, 23 (2), s.111.

Yılmaz, F., 2009. Avrupa Birliği ve Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliği: Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliği Kurullarının Etkinlik Düzeyinin Ölçülmesi. İstanbul Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü Çalışma Ekonomisi ve Endüstri İlişkileri Anabilim Dalı. Doktora Tezi, İstanbul, s.7-8-34.

Yıldız, A., 2018. "Endüstri 4.0 ve akıllı fabrikalar." Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Dergisi, 22(2), s.548.

Yılmaz, G., 1999. "Çalışma ortamı". Fişek Sağlık Hizmetleri Dergisi, 25, s.33-34.

Yılmaz, F. ve Tan, O., 2015. Bir İnşaat Şantiyesinde İş Kazalarının Neden Olduğu İş Günü Kayıplarının İşverene Maliyetinin Belirlenmesi. Uluslararası İktisadi ve İdari İncelemeler Dergisi ,14(14), s.144.

Yılmaz, F., 2018. Robotlar Hayatımızda. Fatih Sultan Mehmet İlmi Araştırmalar İnsani ve Toplum Bilimleri Dergisi,12, s.114.

Yılmaz, K. ve Özdağoğlu, A., 2020. Awareness Analysis of Industry 4.0. Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Sosyal Bilimler Enstitüsü Dergisi,31, s.1-20.

Yüksekbilgili, Z. ve Çevik, G.Z., 2018. Endüstri 4.0 Bağlamında Türkiye'nin Yerine İlişkin Güncel ve Gelecek Eksenli Bir Analiz. Finans Ekonomi ve Sosyal Araştırmalar Dergisi, 3(2), s.430-431.

Yüksel, H., 2019. Endüstri 4.0 Dönüşüm Rehberi. Aristo Yayınevi, İstanbul, s.96.

Zhou, P., Ang, B. W. and Poh, K. L., 2006. Decision Analysis in Energy and Environmental Modeling: An Update, Energy, 31 (14), s.2606.

Qin, J., Liu, Y. and Grosvenor, R., 2016. A Categorical Framework of Manufacturing for Industry 4.0 and Beyond. Procedia CIRP, 52, pp.173–178.

Wang H.S., Che Z.H. ve Wu C., 2010. "Using Analytic Hierarchy Process and Particle Swarm Optimization Algorithm For Evaluating Product Plans", Expert Systems with Applications, 37(2), pp.1023–1034.

Wang, J. and Huang Z., 2017. The Recent Technological Development of Intelligent Mining ın China.Engineering, 3, pp.439.

Wang, S., Wan, J., Li, D. and Zhang, C., 2016. Implementing Smart Factory of Industrie 4.0: An Outlook. International Journal of Distributed Sensor Networks 6 (2), pp.1-10.

Wang, Q, and Qi, H.W.Z., 2016. An Application of Nonlinear Fuzzy Analytic Hierarchy Process in Safety Evaluation of Coal Mine, Safety Science, 86, pp.78-87.

Waschneck, B., Altenmüller, T., Bauernhansl, T., Kyek, A., 2017. Production Scheduling in Complex Job Shops From An İndustrie 4.0 Perspective: A Review And Challenges İn The Semiconductor İndustry. CEUR Workshop Proceedings 1793, pp.3.

WEF, "The Global Risks Report 2017. "Insight Report,12th Edition. (Weforum.org), pp.63-64.

WEF, "Global Risks Perception Survey (GPRS) 2016. "Insıght Report, 11th Edition. Erişim Adresi: WEF_GRR16.pdf (weforum.org).

Wu Y., Lim J., Yang M.-H., 2013. Online Object Tracking: A Benchmark. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition, pp. 2411- 2418.

www.meganova.com.tr/?p=24982, Endüstri 4.0 ve İSG'nin Dönüşümü: "İSG 4.0" – Meganova.

RTLS Underground Mine Tracking: AssetWatch | ORBCOMM

ÖZGEÇMİŞ

Onur DOĞAN, İlköğretimini Samsun'da okudu. Lises Eğitimini Samsun 100. Yıl Lisesi'nde tamamladı. 2005 yılında lisans eğitimini Çukurova Üniversitesi Mühendislik ve Mimarlık Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümünde başladı ve 2009 yılında mezun oldu. 2014 yılın Çankaya Üniversitesinde İş Sağlığı ve Güvenliğinde Yüksek Lisans yaptı ve 2017 yılında bitirdi. 2017 yılında Gümüşhane Üniversitesi Mülkiyet Koruma ve Güvenlik Bölümü İş Sağlığı ve Güvenliği Programında Öğretim Görevlisi oldu. 2018 yılında Çukurova Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliğinde Doktora yapmaya hak kazandı.

EKLER

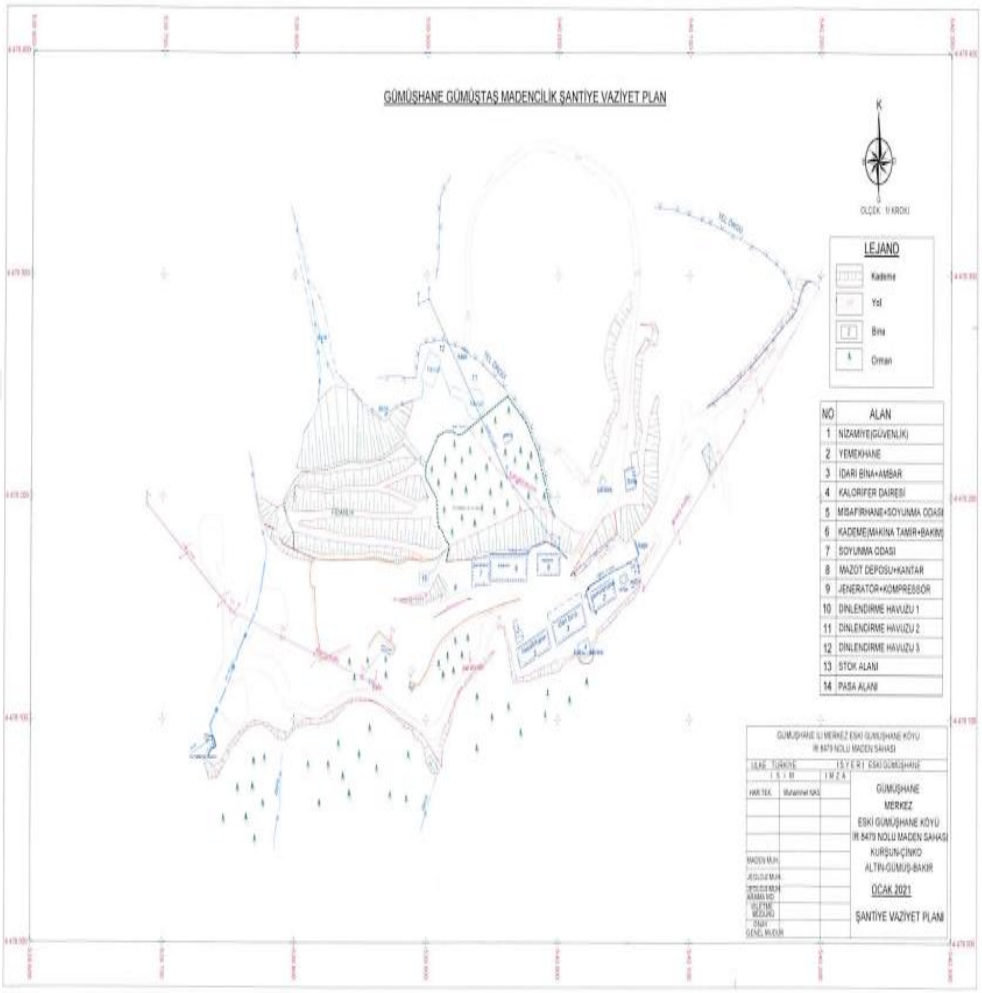
Ek 1. 2019 Yılına ait Eğitim Faaliyetleri

2019 YILI EĞİTİM FAALİYETLERİ						
Firmalar	**Çalışan Sayısı**	**Mevzuat Eğitim**	**Mesleki Eğitim**	**Operatörlük Eğitim**	**SRC Eğitim**	**Psikoteknik Eğitim**
İşletme Mad.	191	260	76	30	30	44
Karatoprak Mad.	35	53	16	0	11	11
Kırkpavli	9	9			2	2
ETS Güvenlik						
ETS Temizlik	11	11				
ETS Depo Güvenlik						
Özden Bilişim	2	2				
Stajyer Öğrenciler	17	17				
Misafirler	416	416				
Hizmet Alımı Yapılan Firmalar	11	11				
Toplam	692	779	92	30	43	57

Ek 2. 2020 Yılına ait Eğitim Faaliyetleri

2020 YILI EĞİTİM FAALİYETLERİ						
Firmalar	**Çalışan Sayısı**	**Mevzuat Eğitim**	**Mesleki Eğitim**	**Operatörlük Eğitim**	**SRC Eğitim**	**Psikoteknik Eğitim**
İşletme Mad.	189	191		5	9	
Karatoprak Mad.	40	44				
Kırkpavli	2	2				
ETS Güvenlik	9	9				
ETS Temizlik	12	12				
ETS Depo Güvenlik	8	8				
Özden Bilişim	3	1				
Stajyer Öğrenciler	1	1				
Misafirler	12	12				
Toplam	279	288		5	9	

Ek-3 İşletme Vaziyet Planı



EK-4

Çalışanların Endüstri 4.0 Uygulamalarına Yönelik Algı Düzeylerini Ölçmeye için Hazırlanan Anket Soruları

1. Yaşınız?

(a) 16-18

(b) 19-23

(c) 24-28

(d) 29-33

(e) 34-38

(f) 39-43

(g) 44-48

(h) 49 ve üzeri

2. Cinsiyetiniz?

(a) Kadın

(b) Erkek

3. Medeni Durumunuz?

(a) Evli

(b) Bekar

4. Çocuk Sahibi iseniz çocuk sayınız?

(a) Yok

(b) 1-3

(c) 4 ve üzeri

5. Eşiniz çalışıyor mu?

(a) Evet

(b) Hayır

6. Eğitim durumunuz?

(a) İlköğretim

(b) Ortaöğretim

(c) Ön lisans

(d) Lisans

(e) Yüksek Lisans

(f) Doktora

7. Mesleğinizi fiili olarak kaç yıldır yapmaktasınız?

(a) 1-5 yıl

(b) 6-10 yıl

(c) 11-15 yıl

(d) 16-20 yıl

(e) 21 yıl ve üzeri

8. İşyerinizdeki pozisyonunuz (iş tanımız) nedir?

(a) İşçi

(b) Formen

(c) Mühendis

(d) Teknik eleman

(e) İş Güvenliği Uzmanı

(f) Diğer (açıklayınız)…

9. Daha önce farklı alanlarda çalıştınız mı?

(a) Evet ise açıklayınız

(b) Hayır çalışmadım

10. Yapmakta olduğunuz işin yapısı gereği ne tür riskler barındırdığı hakkında bilgilendirildiniz mi?

(a) Evet

(b) Hayır

(c) Fikrim yok

11. İş kazası ve meslek hastalığı hakkında bilginiz var mı?

(a) Evet

(b) Hayır

12. Mevcut işyerinizde hiç iş kazası geçirdiniz mi?

(a) Evet

(b) Hayır

13. Meslek hayatınızda hiç iş kazası geçirdiniz mi?

(a) Evet

(b) Hayır

14. İş hayatınızda hiç meslek hastalığı geçirdiniz mi?

(a) Evet

(b) Hayır

15. Ramak Kala: Çalışma ortamında meydana gelen; ancak çalışana, işletmeye veya çevreye zarar verme potansiyeli olduğu halde zarara uğratmayan olaydır. İşyerinizde hiç ramak kala olayına tanık oldunuz mu?

(a) Evet

(b) Hayır

16. Sizce iş kazalarının ortaya çıkmasına neden olan en önemli husus/hususlar nelerdir? (Çoktan seçmeli)

(a) Çalışanların özgüvenlerinin yüksek olması

(b) Çalışanlara işbaşı eğitiminin verilmeyişi

(c) Çalışanların yetersiz olması ve işe uygun seçilmeyişi

(d) Çalışanların yaptıkları işlerin tehlikelerinden haberdar olmayışı

(e) Çalışanlara gerekli kişisel koruyucu donanım temin edilmemesi

(f) Diğer (açıklayınız)..

17. Bilişim teknolojilerine yönelik yetkinlik düzeyiniz nedir?

(a) Çok düşük

(b) Düşük

(c) Orta

(d) İyi

(e) Çok iyi

18. Çalışma ortamındaki dijital ekipmanlar ve bunların birbirleriyle entegrasyonu hakkında bilginiz var mı?

(a) Evet

(b) Hayır

19. Mevcut işletmede Endüstri 4.0 yada dijitalleşme ile ilgili farkındalık eğitim aldınız mı?

(a) Evet

(b) Hayır

20. Endüstri 4.0, bilişim teknolojilerinin, endüstrinin her alanına entegre edilerek üretim süreçlerinin dijital hale gelmesidir. Bu konu ile ilgili fikriniz var mı?

(a) Evet

(b) Hayır

21. Sizce Endüstri 4.0 yada otonom sistemlere geçişte karşılaşılabilecek en önemli sorunlar nedir? (Çoktan seçmeli)

(a) Mevcut yönetimin yeterli görülmeyişi

(b) Geleneksel üretim yöntemlerinin tercih edilmesi

(c) İlk yatırım maliyetlerinin yüksek olması

(d) Yatırım maliyetlerinin yüksek olması

(e) Konun uzmanı personel bulunmasında yaşanan zorluklar

(f) İşyeri yönetiminin yeterli destek vermeyişi

(g) Diğer (açıklayınız)…..

22. Endüstri 4.0 güncel teknolojik uygulamalar hakkında bilginiz var mı?

(a) Evet

(b) Hayır

23. İşletmenizde Endüstri 4.0 kapsamında hazırlanmış iş planı veya yol haritası var mı?

(a) Evet

(b) Hayır

(c) Kısa vadede hayata geçirilmesi planlanmakta

24. İşyerinizde Endüstri 4.0 güncel teknolojik ekipmanları kullanabilecek yetkinliğe sahip teknik personel mevcut mu?

(a) Evet

(b) Hayır

(c) Kısmen var

25. Sizce Endüstri 4.0 uygulamalarının avantajları nelerdir? (Çoktan seçmeli)

(a) Üretim hızında artış sağlar

(b) Ürün kalitesinde artış sağlar

(c) İş sağlığı ve güvenliği sağlar

(d) Ekonomik kazanç sağlar

(e) İstihdamda artış sağlar

(f) Diğer (açıklayınız)…

26. Sizce Endüstri 4.0 uygulamalarının dezavantajları nelerdir? (Çoktan seçmeli)

(a) İşsizlikte artış yaşanır

(b) Enerji tüketiminde artış yaşanır

(c) İş kazalarında ve meslek hastalıklarında artış yaşanır

(d) Tükenebilir enerji kaynaklarına olan talepte artış yaşanır

(e) Diğer (açıklayınız)…

27. Endüstri 4.0 veya teknolojik uygulamaların üretim süreçlerine dahil edilmesi çalışan sağlığı ve güvenliği açısından risk oluşturur mu?

(a) Evet

(b) Hayır

(c) Kısmen

28. Endüstri 4.0 ve Dijitalleşmeye geçişte yaşanabilecek iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili sorunların kaynakları sizce neler olabilir? (Çoktan seçmeli)

(a) Çalışanların eğitimsizliği

(b) Çalışanların deneyimsizliği

(c) Kullanılan ekipmanların çok karmaşık yapıya sahip olması

(d) Uyarıcı sensörlerin yetersizliği

(e) Bakım ve onarımda yaşanan aksaklılar

(f) Tepe yönetimin ilgisizliği

(g) Diğer (açıklayınız)..

29. Endüstri 4.0 kapsamında üretim sürecine dahil olan ekipmanların (otomatik kapılar, fanların kontrolü, uzaktan kumandalı sistemler vb.) çalışan, işletme ve çevre açısından tehlike boyutu hakkında görüşleriniz nelerdir?

(a) Güvenli

(b) Çok güvenli

(c) Tehlikeli

(d) Çok tehlikeli

(e) Fikrim yok

30. Endüstri 4.0 teknolojilerinin üretim süreçlerinde iş güvenliğine etkisi nedir?

(a) İş güvenliğini artırır

(b) İş güvenliğine etkisi yoktur

(c) Fikrim yok

Ek 5. Personellerin Mesleki Yeterlilik Belgeleri

Görevi	Belge ve Sertifikaları	
KAMYON ŞOFÖRÜ	SRC4 BELGESİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	E SINIFI EHLİYET	
TAHKİMAT /KAVLAK	KATI VE SIVI YAKITLI KALORİFER ATEŞÇİSİ	
	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
ELEKTRİK TEKNİKERİ	G.Ü ELEKTRİK BÖLÜMÜ ÖNLİSANS DİPLOMASI	
	B SINIFI SÜRÜCÜ EHLİYETİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	KALDIRMA VE YÜKLEME (FORKLİFT/LASTİK TEKERLEKLİ) İŞ MAKİNESİ OPR. BELGESİ	
TAHKİMAT /KAVLAK	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	ELEKTRİK MESLEK LİSE DİPLOMASI	
	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
SAĞLIK MEMURU	SAĞLIK MESLEK LİSESİ DİPLOMASI	
	AMBULANS KULLANMA YETKİ BELGESİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
KEPÇE OPERATÖRÜ	LASTİK TEKERLEKLİ YÜKLEYİCİ OPR. BEL.	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	BETON SANTRALİ OPR.BEL.	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	FORKLİFT OPR. BELGESİ	
	İŞ KAMYONU (KAYA HAFRİYAT KAMYONU) OPR. BELGESİ	
TAHKİMAT /KAVLAK	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN	

	TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
MEKANİKER	ELEKTRİK ÖN LİSANS DİPLOMASI	
	SRC 2 BELGESİ	
	MESLEKİ YETERLİLİK BELGESİ MAKİNE BAKIMCI SEVİYE 4	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE LOJİSTİK ELEMANI BELGESİ	
	EGZOS EMİSYON EĞİTİM BELGESİ	
	GHH FAHRZEUGE LF 10/LF 6/MKA15/20/35 EĞİTİM SERTİFİKASI	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	KALDIRMA VE YÜKLEME (FORKLİFT/LASTİK TEKERLEKLİ) İŞ MAKİNESİ OPR. BELGESİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
KAMYON ŞOFÖRÜ	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAH. VE SÖKÜM İŞLERİ	
	E-D SINIFI SÜRÜCÜ EHLİYET	
TAHKİMAT/KAVLAK	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
KAMYON ŞOFÖRÜ	TEH. VE ÇOK TEH. İŞ.SONDAJCILIK	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	KAZIMA VE YÜKLEME (KANAL KAZIYICI (BEKO LODER) İŞ MAK.OPERATÖRLÜĞÜ	
	SRC 4 , PSİKOTEKNİK	
	KAMYON EHLİYETİ	
ELEKTRİK TEKNİSYENİ	ELEKTRİK MESLEK LİSE DİPLOMASI	

VARDİYA ÇAVUŞU	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	SRC 2 BELGESİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	C SINIFI ATEŞLEYİCİ YETERLİLİK BELGESİ	
ÇAY SERVİSİ	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
TAHKİMAT /KAVLAK	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAH. VE SÖKÜM İŞLERİ	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	BETON TAŞIMA/KARIŞTIRMA (TRANSMİKSER) İŞ KAMYONU MAK. OPR. BEL.	
	TEH. VE ÇOK TEK. İŞLERDE TOPOĞRAFYA HİZMETLERİ	
	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
NUMUNECİ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE LOJİSTİK ELEMANI BELGESİ	
	B SINIFI SÜRÜCÜ EHLİYETİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	SRC 4 BELGESİ	
	SRC 2 BELGESİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	KAZICI ZEMİN DELGİ DEL. DELME (SONDAJ)OPR. YET. K. (LAS.TEK.İŞ MAK. KUL.BEL.	
MEKANİKER	KALDIRMA VE YÜKLEME (FORKLİFT) İŞ MAKİNASI	
	E SINIFI EHLİYET	

	MESLEKİ YETERLİLİK BELGESİ ÇELİK KAYNAKÇISI SEVİYE 3	
	MESLEKİ YETERLİLİK BELGESİ MAKİNE BAKIMCISI SEVİYE 4	
MEKANİKER	AĞIR VE TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	EGZOS EMİSYON EĞİTİM BELGESİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	SRC 2, SRC 4 BELGESİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	B SINIFI SÜRÜCÜ EHLİYETİ	
	MESLEKİ YETERLİLİK BELGESİ HİDROLİK PNOMATİKÇİ	
	SEVİYE 4	
JUMBO OPERATÖRÜ	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
TAHKİMAT/KAVLAK	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	AĞIR VE TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
YERALTI KEPÇE OPERATÖRÜ	KAZIMA YÜKLEME (YÜKLEYİCİ LODER/LASTİK TEKERLEKLİ) OPR.BEL.	
MADEN MÜHENDİSİ	KTÜ MADEN MÜHENDİSLİĞİ DİPLOMASI	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	SRC 2 BELGESİ	
	B SINIFI SÜRÜCÜ EHLİYETİ	
SONDAJ İŞÇİSİ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	KAZICI ZEMİN DELGİ DELİK DELME (SONDAJ)OPERATÖRÜ	

	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
BİLGİ İŞLEM	ANADOLU ÜNİVERSİTESİ İŞLETME DİPLOMASI	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE LOJİSTİK ELEMANI BELGESİ	
	HALK EĞİTİM MÜD. İLK YARDIM VE SAĞLIK BİLGİSİ KURS SERTİFİKASI	
YERALTI KAMYON OPERATÖRÜ	TOPLUM KAPASİTESİNİ GELİŞTİRME PROJE EĞİTİM PROGRAMI	
	İŞ KAMYONU OPERATÖR BELGESİ	
	KAZIMA YÜKLEME (YÜKLEYİCİ LODER)	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	YÜKLEME -KALDIRMA (VİNÇ)	
TAHKİMAT /KAVLAK	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE TOPOĞRAFYA HİZMETLERİ	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
HARİTA TEKNİKERİ	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	SRC 4 BELGESİ	
	SRC 2 BELGESİ	
	GİRESUN ÜNİVERSİTESİ HARİTA VE KADASTRO ÖNLİSANS DİPLOMASI	
TAHKİMAT/KAVLAK	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER/LASTİK TEKERLEKLİ) İŞ MAK.OPR. BELG.	
SAĞLIK MEMURU	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	SAĞLIK MESLEK LİSESİ DİPLOMASI	
YERALTI KEPÇE	KAZIMA VE YÜKLEME (LASTİK TEKERLEKLİ BEKO LODER	

OPERATÖRÜ	KANAL KAZIYICI)	
	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	KAZIMA VE YÜKLEME	
	EHLİYET (G SINIF İŞLENMİŞ)	
	SRC 2 VE SRC 4 BELGELERİ	
KAZICI YÜKLEYİCİ OPR.	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	BETON PÜSKÜRTME OPERATÖRLÜĞÜ SERTİFİKASI	
	KAZIMA YÜKLEME (KANAL KAZIYICI (BEKO LODER)) İŞ MAK. OPR.	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	BETON TAŞIMA/KARIŞTIRMA (TRANSMİKSER) İŞ KAMYONU MAK. OPR. BEL.	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	TURBOSOL MAKİNA BAKIM VE KULLANIMI	
MADEN MÜHENDİSİ	B SINIFI SÜRÜCÜ EHLİYETİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	İST ÜNİ LİSANS MEZUNİYET BELGESİ	
NUMUNECİ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE LOJİSTİK ELEMANI BELGESİ	
	KAZICI ZEMİN DELGİ DELİK DELME (SONDAJ)OPERATÖRÜ	
YERALTI KEPÇE OPERATÖRÜ	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAHKİMAT VE SÖKÜM İŞLERİ	
JEOLOJİ MÜHENDİSİ	ÇUKUROVA ÜN. JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ LİSANS DİPLOMASI	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	SRC 2 BELGESİ VE SRC 4 BELGESİ	
	B SINIFI SÜRÜCÜ EHLİYETİ	

KAMYON ŞOFÖRÜ	E SINIFI EHLİYET	
ELEKTRİK TEKNİKERİ	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	KARADENİZ T. ÜN. GÜMÜŞHANE M. Y. O. ELEKTRİK BÖLÜMÜ DİPLOMASI	
	TAHLİSİYECİ	
SONDAJ İŞÇİSİ	MESLEK LİSESİ BİLGİSAYAR TEKNİK SERVİS DİPLOMA	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE TOPOĞRAFYA HİZMETLERİ	
	KAZICI ZEMİN DELGİ DELİK DELME (SONDAJ)OPERATÖRÜ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
ATEŞÇİ YARDIMCISI	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAHKİMAT VE SÖKÜM İŞLERİ	
BETON TRANSMİKSER OPR.	TSEN 206 HAZIR BETON STANDARTI POMPA OP.TEMEL EĞİTİM BEL.	
	TSEN 206 HAZIR BETON STANDARTI MİKSER OP.TEMEL EĞİTİM BEL.	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	BETON PÜSKÜRTME MAKİNESİ OPERATÖRLÜĞÜ SERTİFİKASI	
	E-D SINIFI EHLİYET	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAHKİMAT VE SÖKÜM İŞLERİ	
	SRC 4 BELGESİ	
ŞANTİYE ŞOFÖRÜ	D SINIFI EHLİYET	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	AMBULANS KULLANMA YETKİ BELGESİ	
	AMBULANS SÜRÜŞ TEKNİKLERİ BELGESİ	
	SRC-4 BELGESİ	

	SRC-2 BELGESİ	
ATEŞÇİ	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK. TEH. İŞL. KAZI TAH. SÖKÜM İŞL.	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	SOLAR TEMEL ATEŞÇİ EĞİTİMİ BELGESİ	
	C SINIFI ATEŞÇİ BEL.	
	PATLAYICI MADDE NAKİLCİ GÜVENLİK BELGESİ	
NUMUNECİ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE LOJİSTİK ELEMANI BELGESİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
JUMBO OPERATÖRÜ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	KAZICI-ZEMİN DELGİ DELİK DELME (SONDAJ) MAK. OPR.	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
İSG UZMANI	İSG UZMAN SERTİFİKASI	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	K.T.Ü. MADEN MÜHENDİSLİĞİ DİPLOMASI	
	B-C SINIFI ATEŞLEYİCİ YETERLİLİK BELGESİ	
SONDAJ İŞÇİSİ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	KALORİFER ATEŞÇİ BELGESİ	
	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
KAZICI YÜKLEYİCİ OPR.	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	

	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	İŞ KAMYONU (KAYA-HAFRİYAT KAMYONU) OPERATÖRLÜK SERTİFİKASI	
	KAZIMA VE YÜKLEME (KANAL KAZIYICI (BEKO LODER/LASTİK TEKERLEKLİ)) İŞ MAK.OPERATÖRLÜĞÜ	
	EHLİYET	
TAHKİMAT /KAVLAK	KALORİFER ATEŞÇİ BELGESİ	
	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
YERALTI KEPÇE OPERATÖRÜ	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
YERALTI KAMYON OPR.	İŞ KAMYONU (KAYA-HAFRİYAT KAMYONU) OPERATÖRLÜK SERTİFİKASI	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
MEKANİKER	KAZIMA VE YÜKLEME (KANAL KAZIYICI (BEKO LODER/LASTİK TEKERLEKLİ)) İŞ MAK.OPERATÖRLÜĞÜ	
	EGZOS EMİSYON EĞİTİM BELGESİ	
	GHH FAHRZEUGE LF 10/LF 6/MKA15/20/35 EĞİTİM SERTİFİKASI	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAHKİMAT VE SÖKÜM İŞLERİ	
KAZICI YÜKLEYİCİ OPR.	KAZIMA YÜKLEME BEKO LODER OPR. BELGESİ	
	KALDIRMA VE YÜKLEME (FORKLİFT/LASTİK TEKERLEKLİ) İŞ MAKİNESİ OPR. BELGESİ	
	AĞIR VE TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
MEKANİKER	SRC2 BELGESİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	

	GHH FAHRZEUGE LF 10/LF 6/MKA15/20/35 EĞİTİM SERTİFİKASI	
	MESLEKİ YETERLİLİK BELGESİ HİDROLİK PNOMATİKÇİ SEVİYE 4	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	OTO MOTOR TAMİR SERTİFİKASI	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	USTALIK BELGESİ VE İLKOKUL DİPLOMA	
BİLGİ İŞLEM	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE LOJİSTİK ELEMANI BELGESİ	
	MESLEK LİSESİ BİLGİSAYAR/BİLGİSAYARLI MUHASEBE	
MADEN MÜHENDİSİ	KTÜ MADEN MÜH. LİSANS DİPLOMASI	
	SRC 2 BELGESİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	MADENCİLİK ÇEVRE MEVZUATI VE ÇED EĞİTİMİ KATILIM BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
ATEŞÇİ	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	PATLAYICI MADDE NAKİLCİ GÜVENLİK BELGESİ	
	KALDIRMA VE YÜKLEME (FORKLİFT/LASTİK TEKERLEKLİ) İŞ MAKİNESİ OPR. BELGESİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	C SINIFI ATEŞÇİ BEL.	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞ.SONDAJCILIK	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
YERALTI KEPÇE OPERATÖRÜ	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	

	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	LODER (LASTİK TEKERLEKLİ) İŞ MAKİNASI	
BETON TRANSMİKSER OPR.	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	BETON PÜSKÜRTME MAKİNESİ OPERATÖRLÜĞÜ SERTİFİKASI	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	BETON TAŞIMA/KARIŞTIRMA (TRANSMİKSER) İŞ KAMYONU MAK. OPR. BEL.	
	TURBOSOL MAKİNA BAKIM VE KULLANIMI	
JEOLOJİ MÜHENDİSİ	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	SRC 2- SRC 4 BELGELERİ	
	B SINIFI SÜRÜCÜ EHLİYETİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	GÜMÜŞHANE ÜNİVERSİTESİ JEOLOJİ MÜH. MEZUNİYET BELGESİ	
JUMBO OPERATÖRÜ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
KAZICI YÜKLEYİCİ OPERATÖRÜ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	KAZIMA VE YÜKLEME (KANAL KAZIYICI (BEKO LODER) İŞ MAK.OPERATÖRLÜĞÜ	
	KALDIRMA VE YÜKLEME (VİNÇ) İŞ MAKİNESİ OPR. BELGESİ	
	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
KAZICI YÜKLEYİCİ OPERATÖRÜ	ELEKTRİK ÖNLİSANS DİPLOMASI	
	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ	

	OPERATÖR BELGESİ	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	KAZIMA VE YÜKLEME (KANAL KAZIYICI (BEKO LODER/LASTİK TEKERLEKLİ)) İŞ MAK.OPERATÖRLÜĞÜ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
ELEKTRİKÇİ	AĞIR VE TEH. İŞL. YERALTI MEK. MET. MAD. MAKİNELERİNİN BAKIMI VE OPR.	
	KALDIRMA VE YÜKLEME (FORKLİFT/LASTİK TEKERLEKLİ) İŞ MAKİNESİ OPR. BELGESİ	
	ELEKTRİK -ELEKTRONİK TEKNOLOJİSİ/ELEK. TESİSATLARI VE PANO MONİTÖRLÜĞÜ	
KAMYON ŞOFÖRÜ	E-D SINIFI EHLİYET	
	SRC2-SRC4 BELGELERİ	
VARDİYA ÇAVUŞU	AĞIR VE TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	SRC 2 BELGESİ	
SİMBA OPERATÖRÜ	AĞIR VE TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	KAZICI VE ZEMİN DELGİ DELİK DELME (SONDAJ) İŞ MAKİNESİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
ELEKTRİKÇİ	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	ELEKTRİK TESİSATLARI VE PANO MONİTÖRLÜĞÜ KALFALIK BELGESİ	
KAMYON ŞOFÖRÜ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	KAMYON EHLİYETİ-SRC2-SRC 4	
	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
JEOLOJİ MÜHENDİSİ	NİĞDE ÜNİVERSİTESİ JEOLOJİ MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ	
	SRC4 BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	

	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	SRC 2 BELGESİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
ELEKTRİKÇİ	MESLEK LİSESİ DİPLOMASI (ELEKTRİK TESİSATLARI VE PANO MONİTÖRLÜĞÜ)	
	KALFALIK BELGESİ (ELEKTRİK TESİSATLARI VE PANO MONİTÖRLÜĞÜ)	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAYNAKÇI	
	RAYLI SİSTEM TAVAN VİNCİ OPERATÖRLÜĞÜ	
	ELEKTRİK ELEKTRONİK TEKNOLOJİSİ ENDÜSTRİYEL BAKIM ONARIM	
KAMYON ŞOFÖRÜ	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	SRC 4 BELGESİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	İŞ KAMYONU OPERATÖRLÜK BELGESİ	
TOPOĞRAF YARDIMCI ELEMAN	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE TOPOĞRAFYA HİZMETLERİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
ATEŞÇİ	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	SOLAR TEMEL ATEŞÇİ EĞİTİMİ BELGESİ	
	PATLAYICI MADDE NAKİLCİ GÜVENLİK BELGESİ	
	B- C SINIFI ATEŞLEYİCİ YETERLİLİK BELGESİ	
YERALTI KAMYON OPR.	İŞ KAMYONU (KAYA-HAFRİYAT KAMYONU) OPERATÖRLÜK SERTİFİKASI	
	E SINIFI EHLİYET,	

	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
YERALTI KEPÇE OPERATÖRÜ	E- G SINIFI EHLİYET	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE YERALTI MEK.METAL MAD.MAK. BAK. VE OPR.	
	KALDIRMA VE YÜKLEME (VİNÇ) İŞ MAKİNESİ OPR. BELGESİ	
	KAZIMA VE YÜKLEME (KANAL KAZIYICI (BEKO LODER)) İŞ MAK.OPERATÖRLÜĞÜ	
MEKANİKER	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE YERALTI MEK.METAL MAD.MAK. BAK. VE OPR.	
	SRC 2 BELGESİ	
	GHH FAHRZEUGE LF 10/LF 6/MKA15/20/35 EĞİTİM SERTİFİKASI	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	B SINIFI SÜRÜCÜ EHLİYETİ	
	KALFALIK BELGESİ (MOTORCULUK OTO ELEKTRİKÇİLİĞİ)	
TOPOĞRAF YARDIMCI ELEMAN	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE TOPOĞRAFYA HİZMETLERİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	SRC2 BELGESİ	
	İŞLETME MESLEK ELEMANI DİPLOMASI	
BETON TRANSMİKSER OPR.	BETON TAŞIMA/KARIŞTIRMA (TRANSMİKSER) İŞ KAMYONU MAK. OPR. BEL.	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
ATEŞÇİ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
	PATLAYICI MADDE NAKİLCİ GÜVENLİK BELGESİ	
	C SINIFI ATEŞLEYİCİ YETERLİLİK BELGESİ	
	SOLAR TEMEL ATEŞÇİ EĞİTİMİ BELGESİ	

	KALDIRMA VE YÜKLEME (FORKLİFT/LASTİK TEKERLEKLİ) İŞ MAKİNESİ OPR. BELGESİ	
	KAZIMA VE YÜKLEME(YÜKLEYİCİ(LODER)) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
ÇELİK KAYNAKÇISI	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	MESLEKİ YETERLİLİK BELGESİ ÇELİK KAYNAKÇISI SEVİYE 3	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAYNAKÇILIK	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
NUMUNECİ	AĞIR VE TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	KAROT KESME EĞİTİM KATILIM SERTİFİKASI	
	TAHLİSİYECİ	
ÖN MUHASEBE	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	SRC 2 BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE TOPOĞRAFYA HİZMETLERİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE LOJİSTİK ELEMANI BELGESİ	
	ANADOLU ÜNİVERSİTESİ İŞLETME DİPLOMASI	
ELEKTRİK TEKNİSYENİ	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	MESLEK LİSESİ ELEKTRİK BÖLÜMÜ DİPLOMASI	
YERALTI KEPÇE OPERATÖRÜ	KAZIMA VE YÜKLEME(YÜKLEYİCİ) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	

SONDAJ İŞÇİSİ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
	KAZICI ZEMİN DELGİ DELİK DELME (SONDAJ)OPERATÖRÜ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
ATÖLYE FORMENİ	TESFİYE USTALIK BELGESİ	
	MESLEKİ YETERLİLİK BELGESİ HİDROLİK PNOMATİKÇİ SEVİYE 4	
	TESFİYE USTA ÖĞETİCİLİK BELGESİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	EGZOS EMİSYON EĞİTİM BELGESİ	
	SRC 4 BELGESİ	
	SRC 2 BELGESİ	
	GHH FAHRZEUGE LF 10/LF 6/MKA15/20/35 EĞİTİM SERTİFİKASI	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	AMBULANS KULLANMA YETKİ BELGESİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	TAHLİSİYECİ	
JUMBO OPERATÖRÜ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	KAZICI ZEMİN DELGİ DELİK DELME (SONDAJ)OPERATÖRÜ)	
ŞANTİYE ŞOFÖRÜ	E SINIFI EHLİYET, SRC 2-SRC-3, SRC 4 BELGESİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	AMBULANS SÜRÜŞ TEKNİKLERİ BELGESİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	

SİMBA OPR. YRD.	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
VARDİYA ÇAVUŞU	KAZIMA VE YÜKLEME MAKİNELERİ KANAL KAZIYICI(BEKO LODER)	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	SRC 2 BELGESİ	
	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
BETON TRANSMİKSER OPR.	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	BETON TAŞIMA/KARIŞTIRMA (TRANSMİKSER) İŞ KAMYONU MAK. OPR. BEL.	
	SRC4-PSİKOTEKNİK-EHLİYET-TEHLİKELİ MAL TAŞIMACILIĞI	
MEKANİKER	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	GHH FAHRZEUGE LF 10/LF 6/MKA15/20/35 EĞİTİM SERTİFİKASI	
	SRC 2 BELGESİ	
	MESLEKİ YETERLİLİK BELGESİ MAKİNE BAKIMCI SEVİYE 4	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
İDARİ İŞLER MÜDÜRÜ		

VARDİYA ÇAVUŞU	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	AMBULANS KULLANMA YETKİ BELGESİ	
	SRC 2- SRC 4 BELGELERİ	
	AĞIR VE TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
KAZICI YÜKLEYİCİ OPR.	KALDIRMA VE YÜKLEME (FORKLİFT-LASTİK TEKERLEKLİ) İŞ MAKİNASI	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	KAZICI YÜKLEYİCİ OPERATÖRÜ	
TAHKİMAT/KAVLAK	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	G SINIFI EHLİYET LODER OPR.	
SİMBA OPERATÖRÜ	AĞIR VE TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	C SINIFI ATEŞLEYİCİ YETERLİLİK BELGESİ	
	PATLAYICI MADDE NAKİLCİ GÜVENLİK BELGESİ	
	~~ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ~~ OPERATÖR BELGESİ	
YERALTI KEPÇE OPERATÖRÜ	İŞ KAMYONLARI OPERATÖRÜ	
	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	KAZIMA VE YÜKLEME (KANAL KAZIYICI (BEKO LODER)) İŞ MAK.OPERATÖRLÜĞÜ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
YERALTI KEPÇE	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAHKİMAT VE SÖKÜM İŞLERİ	

OPERATÖRÜ		
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	LODER (LASTİK TEKERLEKLİ) İŞ MAKİNASI	
JEOLOJİ MÜHENDİSİ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	SRC 2 BELGESİ	
	B SINIFI SÜRÜCÜ EHLİYETİ	
	LİSANS DİPLOMASI	
TAHKİMAT/KAVLAK	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
KAMYON ŞOFÖRÜ	KAZIMA VE YÜKLEME (LASTİKLİ EKSKAVATÖR) İŞ MAKİNASI	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	B SINIFI EHLİYET	
	BETON TAŞIMA/KARIŞTIRMA (TRANSMİKSER) İŞ KAMYONU MAK. OPR. BEL.	
	BETON PÜSKÜRTME MAKİNALARI (LASTİK TEKERLEKLİ)	
ŞANTİYE ŞOFÖRÜ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	AMBULANS NAKİL ARACI KULLANMA BELGESİ	
	AMBULANS SÜRÜŞ TEKNİKLERİ BELGESİ	
	E SINIFI EHLİYET/ SRC 2 / SRC 4 BELGESİ	
MADEN MÜHENDİSİ	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	SRC 2 BELGESİ	
	S.D.ÜN. LİSANS DİPLOMASI	

YERALTI KEPÇE OPERATÖRÜ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	TAHLİSİYECİ	
ŞANTİYE ŞOFÖRÜ	SRC 2- SRC 4 BELGELERİ	
	E SINIFI EHLİYET	
KEPÇE OPERATÖRÜ	TAHLİSİYECİ	
	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
KEPÇE OPERATÖRÜ	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	KAZIMA VE YÜKLEME ESKAVATÖR	
KAMYON ŞOFÖRÜ	İŞ MAKİNELERİ OPERATÖRLÜĞÜ (İŞ KAMYONU)	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	SRC4 BELGESİ	
	E SINIFI EHLİYET	
JUMBO OPERATÖRÜ	KAZIMA VE YÜKLEME (KANAL KAZIYICI (BEKO LODER/LASTİK TEKERLEKLİ)) İŞ MAK.OPERATÖRLÜĞÜ	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	KAZICI ZEMİN DELGİ DELİK DELME (SONDAJ)OPERATÖRÜ)	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAHKİMAT VE SÖKÜM İŞLERİ	
MADEN MÜHENDİSİ	SRC 2 BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	SELÇUK ÜN. LİSANS DİPLOMASI	
SAĞLIK MEMURU	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	HİJYEN EĞİTİM SERTİFİKASI	
	SAĞLIK MESLEK LİSESİ DİPLOMASI	
KAMYON ŞOFÖRÜ	SRC 2-4 E VE D SINIFI EHLİYET PSİKOTEKNİK	
	BETON TAŞIMA/KARIŞTIRMA (TRANSMİKSER) İŞ KAMYONU MAK. OPR. BEL.	
YERALTI KAMYON ŞOFÖRÜ	IT, BOBCAT, 950 (LASTİK TEKERLEKLİ YÜKLEYİCİ) OPR. BEL.	

	İŞ KAMYONU (YERALTI KAMYONU)OPR. BEL.	
	F-G LODER(YÜKLEYİCİ) SÜRÜCÜ BEL.	
	AĞIR VE TEH. İŞL. YERALTI MEK. MET. MAD. MAKİNELERİNİN BAKIMI VE OPR.	
	İŞ KAMYONU (YERALTI TRANSMİKSER)OPR. BEL.	
HARİTA TEKNİKERİ	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	SRC 2 BELGESİ- SRC 4 BELGESİ-PSİKOTEKNİK BELGESİ	
	DÜZCE ÜN. HARİTA KADASTRO M.Y.O ÖNLİSANS	
VARDİYA ÇAVUŞU	AĞIR VE TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	AMBULANS NAKİL ARACI KULLANMA BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	SRC-2/ SRC-4 BELGESİ	
	TAHLİSİYECİ	
MADEN MÜHENDİSİ	DİCLE ÜNİVERSİTESİ MADEN MÜHENDİSLİĞİ DİPLOMASI	
KAMYON ŞOFÖRÜ	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	SRC4-PSİKOTEKNİK-EHLİYET	
JUMBO OPERATÖRÜ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	KAZICI ZEMİN DELGİ DELİK DELME (SONDAJ)OPERATÖRÜ)	
SONDAJ İŞÇİSİ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	MESLEK LİSESİ TESFİYE BÖLÜMÜ DİPLOMASI	
	KAZICI ZEMİN DELGİ DEL. DELME (SONDAJ)OPR. YET. K. (LAS.TEK.İŞ MAK. KUL.BEL.	
SONDÖR	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	

	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
ATEŞÇİ	KALDIRMA VE YÜKLEME (VİNÇ) İŞ MAKİNESİ OPR. BELGESİ	
	AĞIR VE TEH. İŞL. YERALTI MEK. MET. MAD. MAKİNELERİNİN BAKIMI VE OPR.	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	SOLAR TEMEL ATEŞÇİ EĞİTİMİ BELGESİ	
	KAZIMA VE YÜKLEME (KANAL KAZIYICI (BEKO LODER)) İŞ MAK.OPERATÖRLÜĞÜ	
	B- C SINIFI ATEŞLEYİCİ YETERLİLİK BELGESİ	
	PATLAYICI MADDE NAKİLCİ GÜVENLİK BELGESİ	
JUMBO OPERATÖRÜ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	KAZICI-ZEMİN DELGİ DELİK DELME (SONDAJ) MAK. OPR.	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
SAĞLIK MEMURU	SAĞLIK MESLEK LİSESİ DİPLOMASI	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	HİJYEN EĞİTİM SERTİFİKASI	
SİMBA OPERATÖRÜ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
MADEN MÜHENDİSİ	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	SRC 2 BELGESİ	
	DUMLUPINAR ÜN.LİSANS DİPLOMASI	

BÜRO ELEMANI		
YERALTI KAMYON OPERATÖRÜ	İŞ MAKİNELERİ OPERATÖRLÜĞÜ (İŞ KAMYONU)	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	SRC 4	
MADEN MÜHENDİSİ	DUMLUPINAR ÜN.LİSANS DİPLOMASI	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	SRC 2 BELGESİ	
	C SINIFI ATEŞLEYİCİ YETERLİLİK BELGESİ	
SİMBA OPERATÖRÜ	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	C SINIFI ATEŞLEYİCİ YETERLİLİK BELGESİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	TAHLİSİYECİ	
MEKANİKER	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	GHH FAHRZEUGE LF 10/LF 6/MKA15/20/35 EĞİTİM SERTİFİKASI	
	KALFALIK BELGESİ (MOTORCULU ARAÇ. TEK. OTOMOTİV ELEKTROMEKANİKERLİĞİ)	
ELEKTRİKÇİ	MESLEK LİSESİ ELEKTRİK BÖLÜMÜ DİPLOMASI	
	USTA ÖĞRETİCİ BELGESİ	
	USTALIK BELGESİ	
SONDÖR	İŞ KAMYONU (YERALTI KAMYONU)	

	LASTİK TEKERLEKLİ YÜKLEYİCİ OPERATÖR BELGESİ	
	UZUN DELGİ (SONDAJ) OPR. BELGESİ	
	KAZIMA VE YÜKLEME (KANAL KAZIYICI (BEKO LODER)) İŞ MAK.OPERATÖRLÜĞÜ	
	YER ALTI MEKANİZE MET. MAD.MAK.BAKIMI VE OPR. BELGESİ	
KAMYON ŞOFÖRÜ	E SINIFI EHLİYET-SRC 2- SRC 4 BELGESİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	İŞ MAKİNELERİ OPERATÖRLÜĞÜ (İŞ KAMYONU)	
NUMUNECİ	MESLEK LİSESİ ELEKTRİK BÖLÜMÜ DİPLOMASI	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	KAROT KESME EĞİTİM KATILIM SERTİFİKASI	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
BETON	BETON TRANSMİKSER OPERATÖRLÜK BELGESİ	
SİMBA OPERATÖRÜ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	KAZICI-ZEMİN DELGİ DELİK DELME (SONDAJ) MAK. OPR.	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAHKİMAT VE SÖKÜM İŞLERİ	
YERALTI KEPÇE OPERATÖRÜ	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ (LODER)) İŞ MAK.OPR.	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAHKİMAT VE SÖKÜM İŞLERİ	
SİMBA OPERATÖRÜ	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	AĞIR VE TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	TAHLİSİYECİ	

KAMYON ŞOFÖRÜ	SRC2-SRC4-PSİKOTEKNİK-EHLİYET-TİCARİ TAŞIT KULLANMA BELGESİ	
BETON KAPLAMA OPR.	İŞ KAMYONU (YERALTI KEPÇESİ) OPR.	
	YERALTI KAMYONU OPR.	
	BETON PÜSKÜRTME MAKİNESİ OPERATÖRLÜĞÜ SERTİFİKASI	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	LASTİK TEKERLEKLİ YÜKLEYİCİ OPERATÖR BELGESİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	YERALTI TRANSMİKSERİ	
YERALTI KEPÇE OPERATÖRÜ	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	HİJYEN EĞİTİM SERTİFİKASI	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. SONDAJCILIK	
	AĞIR VE TEHLİKELİ İŞL. KAZI TAH.SÖKÜM İŞL.	
MADEN MÜHENDİSİ	KTÜ. MADEN MÜHENDİSLİĞİ LİSANS DİPLOMASI	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAHKİMAT VE SÖKÜM İŞLERİ	
	SRC 2 BELGESİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	B SINIFI İŞ GÜV. UZ.SERTİFİKASI	
TAHKİMAT /KAVLAK	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
	AĞIR VE TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
ATEŞÇİ	B- C SINIFI ATEŞLEYİCİ YETERLİLİK BELGESİ	
	SOLAR TEMEL ATEŞÇİ EĞİTİMİ BELGESİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	

	PATLAYICI MADDE NAKİLCİ GÜVENLİK BELGESİ	
	İŞ KAMYONLARI OPERATÖRÜ	
	KAZIMA YÜKLEME (KANAL KAZIYICI) BEKO LODER	
İSG UZMANI	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	C SINIFI İŞ GÜVENLİĞİ UZMANI	
BİLGİ İŞLEM	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE LOJİSTİK ELEMANI BELGESİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	ELEKTRİK ELEKTRONİK TEKNOLOJİSİ ENDÜSTRİYEL BAKIM ONARIM	
KEPÇE OPERATÖRÜ	İŞ MAKİNELERİ KULLANIMI(FORKLİFT) SERTİFİKASI	
	İŞ MAKİNELERİ KULLANIMI(MOBİL VİNÇ) SERTİFİKASI	
	İŞ MAKİNELERİ KULLANIMI(EKSKAVATÖR) SERTİFİKASI	
	İŞ MAKİNELERİ LODER SERTİFİKASI	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
NUMUNECİ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
YEALTI KAMYON OPERATÖRÜ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	İŞ KAMYONU (KAYA-HAFRİYAT KAMYONU) OPERATÖRLÜK SERTİFİKASI	
	KAZIMA VE YÜKLEME (KANAL KAZIYICI (BEKO LODER)) İŞ MAK.OPERATÖRLÜĞÜ	
	E SINIFI EHLİYET	
ATEŞÇİ YARDIMCISI	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	HAZIRLIK İŞÇİSİ	

	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
SONDAJ İŞÇİSİ	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
MADEN MÜHENDİSİ	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	SRC 2- SRC 4 BELGELERİ	
	CUMHURİYET ÜN. LİSANS DİPLOMASI	
YERALTI KAMYON OPERATÖRÜ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	E SINIFI EHLİYET	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	SRC 2 BELGESİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	İŞ KAMYONU (KAYA-HAFRİYAT KAMYONU) OPERATÖRLÜK SERTİFİKASI	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
ÖN MUHASEBE	ÇALIŞMA EKONOMİSİ VE ENDÜSTRİ LİSANS DİPLOMASI	
	BİLGİSAYAR İŞLETMENLİĞİ SERTİFİKASI	
JUMBO OPERATÖRÜ	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	AĞIR VE TEH. İŞL. KAZI TAH. SÖKÜM İŞL.	
YER ALTI KAMYON OPERATÖRÜ	İŞ KAMYONU (YER ALTI TRANSMİXER) OPERATÖR BELGESİ	
	YER ALTI KAMYON OPERATÖR BELGESİ	
	LASTİK TEKERLEKLİ YÜKLEYİCİ OPERATÖR BELGESİ	
ARAMA MÜDÜRÜ JEOLOJİ MÜHENDİSİ	SRC 4 BELGESİ	
	SRC 2 BELGESİ	
KAMYON ŞOFÖRÜ	SRC 4 BELGESİ	
	AMBULANS KULLANMA YETKİ BELGESİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	KAMYON EHLİYETİ	

DEĞİRMEN İŞÇİSİ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
SONDAJ İŞÇİSİ	WEB TASARIMCILIĞI TEKNİSYENLİĞİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE TOPOĞRAFYA HİZMETLERİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	ZEMİN DELGİ (LASTİK TEKERLEKLİ DELİK DELME SONDAJ)İŞ MAKİNESİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
ATEŞÇİ YARDIMCISI	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
DEĞİRMEN İŞÇİSİ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	KAROT KESME EĞİTİM KATILIM SERTİFİKASI	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
ATEŞÇİ	PATLAYICI MADDE NAKİLCİ GÜVENLİK BELGESİ	
	SOLAR TEMEL ATEŞÇİ EĞİTİMİ BELGESİ	
	C SINIFI ATEŞÇİ BEL.	
	KALDIRMA VE YÜKLEME (FORKLİFT/LASTİK TEKERLEKLİ) İŞ MAKİNESİ OPR. BELGESİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
YERALTI KEPÇE OPERATÖRÜ	YERALTI KAMYONU OPR. BEL.	
	LASTİK TEKERLEKLİ YÜKLEYİCİ OPERATÖR BELGESİ	
	AĞIR VE TEH. İŞL. YERALTI MEK. MET. MAD. MAKİNELERİNİN BAKIMI VE OPR.	

	YERALTI YÜKLEYİCİ OPR. BELGESİ	
SİMBA OPERATÖRÜ	G.Ü MOBİLYA VE DEKARASYON ÖN LİSANS DİPLOMASI	
	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	KAZICI-ZEMİN DELGİ DELİK DELME (SONDAJ) MAK. OPR.	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAHKİMAT VE SÖKÜM İŞLERİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	İŞ MAKİNELERİ GREYDER OPR. BEL.	
BETON TRANSMİKSER OPR.	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE SONDAJCILIK	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	BETON TAŞIMA/KARIŞTIRMA (TRANSMİKSER) İŞ KAMYONU MAK. OPR. BEL.	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
	KAZICI ZEMİN DELGİ DELİK DELME (SONDAJ)OPERATÖRÜ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
KAMYON ŞOFÖRÜ	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	SRC 4 BELGESİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	E SINIFI EHLİYET	
KAZICI YÜKLEYİCİ OPR.	KAZIMA YÜKLEME TESVİYE(EKSKAVATÖR) İŞ MAKİNESİ OPERATÖRLÜĞÜ	
	KAZIMA VE YÜKLEME (KANAL KAZIYICI(BEKO LODER) İŞ MAK. OPR. BEL.	
	BETON TAŞIMA/KARIŞTIRMA (TRANSMİKSER) İŞ KAMYONU MAK. OPR. BEL.	
	SRC 4 BELGESİ	
	KAZIMA YÜKLEME YÜKLEYİCİ (LODER) İŞ MAKİNASI	

	OPERATÖRLÜĞÜ	
	KALDIRMA VE YÜKLEME (FORKLİFT) İŞ MAKİNESİ OPR. BELGESİ	
KEPÇE OPERATÖRÜ	İŞ KAMYONU OPERATÖRLÜK BELGESİ	
	KAZIMA VE YÜKLEME(YÜKLEYİCİ(LODER)) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
TAHKİMAT /KAVLAK	BETON TAŞIMA/KARIŞTIRMA (TRANSMİKSER) İŞ KAMYONU MAK. OPR. BEL.	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
BİLGİ İŞLEM	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE TOPOĞRAFYA HİZMETLERİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE LOJİSTİK ELEMANI BELGESİ	
YERALTI KEPÇE OPERATÖRÜ	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
İNŞAAT USTASI	AĞIR VE TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
JEOLOJİ YÜK. MÜH.	CUMHURİYET ÜN. YÜKSEK LİSANS DİPLOMASI + LİS. DP.	
	SRC 2 BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	JEOLOJİ MÜH. ODA KİMLİĞİ	
JUMBO OPERATÖRÜ	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	KAZICI ZEMİN DELGİ DELİK DELME (SONDAJ)OPERATÖRÜ)	
SONDÖR	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. SONDAJCILIK	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAHKİMAT VE SÖKÜM İŞLERİ	

MEKANİKER	MUH. VE VERGİ UYGULAMALARI ÖNLİSANS DİPLOMASI	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	GHH FAHRZEUGE LF 10/LF 6/MKA15/20/35 EĞİTİM SERTİFİKASI	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	MESLEKİ YETERLİLİK BELGESİ MAKİNE BAKIMCI SEVİYE 4	
	HAZIRLIK İŞÇİSİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
KAMYON ŞOFÖRÜ	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	D- SINIFI EHLİYET	
	AMBULANS KULLANMA YETKİ BELGESİ	
	İLKYARDIMCI SERTİFİKASI	
	SRC 4 BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAHKİMAT VE SÖKÜM İŞLERİ	
YERALTI KAMYON OPR.	İŞ KAMYONLARI OPERATÖRÜ	
	C SINIFI ATEŞÇİ BEL.	
JUMBO OPERATÖRÜ	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. KAZI TAHKİMAT VE SÖKÜM İŞLERİ	
JUMBO OPERATÖRÜ	ZEMİN DELGİ (DELİK DELME VE SONDAJ) MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	AĞIR VE TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
YERALTI KEPÇE OPERATÖRÜ	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
ÇELİK KAYNAKÇISI	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE KAZI TAHKİMAT SÖKÜM İŞLERİ	
	SRC 2 BELGESİ	

	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	
	GHH FAHRZEUGE LF 10/LF 6/MKA15/20/35 EĞİTİM SERTİFİKASI	
	KALDIRMA YÜKLEME İSTİFLEME (FORKLİFT) İŞ MAK.OPR.	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	MESLEKİ YETERLİLİK BELGESİ MAKİNE BAKIMCI SEVİYE 4	
	MESLEKİ YETERLİLİK BELGESİ ÇELİK KAYNAKÇISI SEVİYE 3	
JEOLOJİ MÜHENDİSİ	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE LOJİSTİK ELEMANI BELGESİ	
	GÜMÜŞHANE BEL. İTFAİYE MÜDÜRLÜĞÜ YANGIN TATBİKAT KATILIM BELGESİ	
	PSİKOTEKNİK DEĞERLENDİRME	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞL. MADEN NEZARETÇİLİĞİ	
	SRC 4 BELGESİ	
	SRC 2 BELGESİ	
	KAH.MAR.SÜTÇÜ İMAM ÜNİVERSİTESİ JEOLOJİ MÜH.	
KEPÇE OPERATÖRÜ	KAZIMA VE YÜKLEME (YÜKLEYİCİ(LODER) İŞ MAKİNESİ OPERATÖR BELGESİ	
	TEH. VE ÇOK TEH. İŞLERDE TOPOĞRAFYA HİZMETLERİ	
	TEHLİKELİ VE ÇOK TEHLİKELİ İŞLERDE YERALTI MEK. MET. MAD. MAK.BAK. VE OPR.	