INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY IN MINING'2025
PROCEEDINGS BOOK

ULUSLARARASI MADEN İŞLETMELERİNDE İŞÇİ SAĞLIĞI VE İŞ GÜVENLİĞİ SEMPOZYUMU'2025
BİLDİRİLER KİTABI

14-15 May / Mayıs 2025
Soma – Türkiye

Editors / Editörler

Muharrem Kemal ÖZFIRAT
Mustafa Emre YETKİN
Ali Kemal EYÜBOĞLU
Şahin GÜLERYÜZ

UCTEA, Chamber of Mining Engineers of Türkiye
TMMOB, Maden Mühendisleri Odası

INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY IN MINING'2025
PROCEEDINGS BOOK

ULUSLARARASI MADEN İŞLETMELERİNDE İŞÇİ SAĞLIĞI VE İŞ GÜVENLİĞİ SEMPOZYUMU'2025 BİLDİRİLER KİTABI

14-15 May / Mayıs 2025
Soma – Türkiye

Website / İnternet Sitesi: https://madenisg.org.tr/

All rights reserved © 2025
No parts of this book may be reproduced in any forms any means, without written permission of The Chamber of Mining Engineers of Turkey.

Tüm Hakları Saklıdır © 2025
TMMOB MadenMühendisleri Odası'nın yazılı izni olmaksızın bu kitap veya bu kitabın herhangi bir kısmı yayınlanamaz.

The proceedings are available in e-book format.
Bildiriler e-kitap biçiminde yayınlanmıştır.

Editors / Editörler: Muharrem Kemal ÖZFIRAT, Mustafa Emre YETKİN, Ali Kemal EYÜBOĞLU, Şahin GÜLERYÜZ

Layout / Dizgi : Mustafa Emre YETKİN, Ali Kemal EYÜBOĞLU

ISBN: 978-605-01-1673-1

Sempozyum kitabının – flaşh belleğin baskısı;
Era Group Havalandırma Ekipmanları ve Dış Ticaret A.Ş
katkılarıyla gerçekleştirilmiştir.

SUNUŞ

Madencilik, tarih boyunca uygarlıkların gelişiminde ve kalkınmasında stratejik bir rol oynamış, bugün ise modern yaşamın sürdürülebilirliği açısından vazgeçilmez bir sektör olmayı sürdürmektedir. Ancak bu stratejik öneme sahip sektör, barındırdığı yüksek risk faktörleri nedeniyle işçi sağlığı ve iş güvenliği alanında da özel bir hassasiyet gerektirmektedir.

TMMOB Maden Mühendisleri Odası olarak, işçi sağlığı ve iş güvenliği konusunu yalnızca yasal bir yükümlülük değil, aynı zamanda etik bir sorumluluk ve mesleki bir bilinç olarak görmekteyiz. Bu anlayışla, geçmiş yıllarda ulusal ve uluslararası düzeyde büyük ilgi gören "Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu"nu, bu yıl dokuzuncu kez düzenlemenin gururunu yaşıyoruz.

14-15 Mayıs 2025 tarihlerinde Soma/Manisa'da gerçekleştireceğimiz Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu 2025, iş güvenliği alanında çalışan bilim insanları, uzmanlar, uygulayıcılar, yasa koyucular ve sektör temsilcilerini bir araya getirerek bilgi ve deneyim paylaşımını teşvik eden önemli bir platform olacaktır. Bu yıl, Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü ile birlikte düzenlediğimiz Sempozyum; mevzuat, iş hukuku, risk yönetimi, eğitim, patlayıcı madde güvenliği, yeraltı ve açık işletmelerdeki uygulamalar gibi pek çok kritik başlığı kapsamaktadır.

Sempozyumun, yalnızca güncel gelişmelerin paylaşılacağı bir bilimsel etkinlik olmanın ötesine geçerek, ülkemizde iş kazalarının önlenmesi ve işyerlerinde güvenli çalışma kültürünün yaygınlaştırılmasına katkı sağlayacağına inanıyoruz. Bu alanda akademik bilgi birikiminin, teknolojik yeniliklerle ve saha deneyimiyle harmanlandığı bir ortam yaratmak temel hedefimizdir.

Katkı sunan tüm kurum ve kuruluşlara, değerli bildirileriyle sempozyumumuzu zenginleştiren bilim insanlarına, emeği geçen düzenleme kurulu üyelerine ve tüm katılımcılara içten teşekkürlerimizi sunuyoruz.

İşçi sağlığı ve iş güvenliğinin öncelikli olduğu, sıfır iş kazasına ulaşan bir madencilik sektörü hedefiyle düzenlediğimiz bu sempozyumda sizleri Soma/Manisa'da ağırlamaktan onur ve mutluluk duyacağız.

Saygılarımızla,

Aykut AKDEMİR

TMMOB Maden Mühendisleri Odası
İzmir Şube Başkanı
06 Mayıs 2025

ÖNSÖZ

İşçi sağlığı ve iş güvenliğinin birinci amacı çalışan sağlığını korumaktır. Madencilik sektörü Türkiye'de ve dünyada en yoğun işgücü gerektiren sektörlerden bir tanesidir. Ülkemizde 20/06/2012 tarihinde yürürlüğe giren 6331 sayılı İş sağlığı ve Güvenliği kanunu ile proaktif önlem yaklaşımı getirilerek kazaların hiç başlamadan durdurulması amaçlanmıştır. Dolayısıyla iş güvenliğinde her alanda önlemler ve standartlar geliştirilerek iş kazalarının azaltılması, hatta sıfır düzeyine düşürülmesi en büyük hedeftir.

Bu bağlamda, 2007 yılından 2015 yılına kadar aralıksız olarak iki yılda bir ulusal boyutta düzenlenmiş olan "Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu", ilk olarak 2017 yılında uluslararası boyutta düzenlenmiştir. 2019 ve 2022 yıllarında uluslararası boyutta düzenlenen sempozyum "14-15 Mayıs 2025" yılında bilim insanları, araştırmacılar, uygulayıcılar, kanun yapıcılar, ilgili kamu kurumları, sektörün önde gelen kuruluşları, bu alanda öğrenim gören öğrenciler ve meslektaşlarımızın katılımıyla dokuzuncu kez "Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu'2025" olarak Soma/Manisa'da düzenlenecektir.

2025 yılında düzenlenecek olan Sempozyum, TMMOB Maden Mühendisleri Odası İzmir Şubesi ile Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü'nün birlikte düzenleyeceği İş sağlığı ve güvenliğine ilişkin mevzuat, İş güvenliği hukuku, alt işverenliğin yükümlülüğü, İş kazaları ve meslek hastalıklarından doğan cezai ve hukuki sorumluluklar, İş sağlığı ve güvenliğinde risk analizi ve risk yönetimi, Kişisel koruyucu donanımlar, Belirsizlik ve duyarlılık analizi, İş kazası ve meslek hastalıklarının ekonomik analizleri, İş güvenliği eğitimi, Yeraltı işletmelerinde iş sağlığı ve güvenliği, Açık işletmelerde iş sağlığı ve güvenliği, Cevher hazırlama tesislerinde iş sağlığı ve güvenliği, Arama-kurtarma, Patlayıcı madde ve kullanımında iş güvenliği, Tahkimat, Madenlerde endojen yangın güvenliği, Madenlerde metan drenajı, Madenlerde grizunun önlenmesi, İş ekipmanlarında güvenlik, Nakliyat çalışmalarında iş sağlığı ve güvenliği, Havalandırma çalışmalarında iş sağlığı ve güvenliği, Gaz, Toz patlamalarının önlenmesi çalışmaları, İş sağlığı ve güvenliğinde işyeri organizasyonu ve diğer konuların işleneceği bir sempozyum olacaktır.

Dünyanın alanında uzman bilim insanlarıyla sektör temsilcilerini bir araya getirerek, işçi sağlığı ve iş güvenliği alanındaki son bilimsel ve teknolojik gelişmelerin paylaşılıp uluslararası alanda konuya etkin bir kaynak oluşturacağına inandığımız Sempozyumda siz değerli katılımcıları aramızda görmekten ve Soma/Manisa'da ağırlamaktan onur duyacağız.

Sempozyumda görüşmek dileğiyle, Saygılarımla.

Prof.Dr. Muharrem Kemal ÖZFIRAT

Sempozyum Yürütme Kurulu Adına
Sempozyum Başkanı
06 Mayıs 2025

FOREWORD

The primary goal of occupational health and safety is to protect the health of workers. Mining is one of the sectors that requires the most intensive labor both in Turkey and worldwide. With the Occupational Health and Safety Law No. 6331, which came into effect on June 20, 2012, a proactive preventive approach was introduced, aiming to stop accidents before they occur. Therefore, the greatest goal in occupational safety is to develop measures and standards in all areas to reduce workplace accidents, or even eliminate them entirely.

In this context, the “Symposium on Occupational Health and Safety in Mining” which was organized on a national scale every two years from 2007 to 2015 without interruption, was first held internationally in 2017. The symposium, which was organized internationally in 2019 and 2022, will be held for the ninth time on May 14-15, 2025, in Soma/Manisa as the "International Symposium on Occupational Health and Safety in Mining 2025", with the participation of scientists, researchers, practitioners, policymakers, relevant public institutions, leading organizations in the sector, students studying in this field, and our colleagues.

The 2025 Symposium will be organized in cooperation with the Izmir Branch of the Chamber of Mining Engineers (TMMOB) and the Department of Mining Engineering at Dokuz Eylül University. It will cover topics such as legislation on occupational health and safety, occupational safety law, the responsibilities of subcontractors, criminal and legal liabilities arising from workplace accidents and occupational diseases, risk analysis and management in occupational health and safety, personal protective equipment, uncertainty and sensitivity analysis, economic analyses of workplace accidents and occupational diseases, occupational safety training, occupational health and safety in underground and open-pit operations, safety in mineral processing plants, search and rescue, occupational safety in the use of explosives, support systems, endogenous fire safety in mines, methane drainage in mines, prevention of gas explosions, safety of work equipment, occupational health and safety in transportation operations, ventilation, prevention of gas and dust explosions, workplace organization in occupational health and safety, and other related topics.

We would be honored to have you join us at the symposium, where we believe that it will bring together world-renowned experts in the field and representatives from the industry to share the latest scientific and technological developments in occupational health and safety, creating a significant international resource on the subject.

Sincerely,

Prof.Dr. Muharrem Kemal ÖZFIRAT

On behalf of the Executive Commitee
Symposium Chair
May 5, 2025

ORGANIZED BY / ORGANİZASYON KURULU

The Chamber of Mining Engineers, Izmir Branch

TMMOB MadenMühendisleri Odası İzmir Şubesi

EXECUTIVE COMMITTEE / YÜRÜTME KURULU

Symposium Chair / Sempozyum Başkanı

Prof. Dr. Muharrem Kemal ÖZFIRAT

Dokuz Eylül University / Dokuz Eylül Üniversitesi

Co-Chairman / II. Başkan

Doç. Dr. Mustafa Emre YETKİN

Dokuz Eylül University / Dokuz Eylül Üniversitesi

Secretary / Yazman

Öğr. Gör. Dr. Ali Kemal EYÜBOĞLU

Dokuz Eylül University / Dokuz Eylül Üniversitesi

Treasurer / Sayman

İlhan ÇOLAK

Chamber of Mining Engineers of Turkey/ Maden Mühendisleri Odası

Members / Üyeler

Dr. Muharrem Kemal ÖZFIRAT	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Mustafa Emre YETKİN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Ali Kemal EYÜBOĞLU	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Çağatay PAMUKÇU	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Ahmet Hamdi DELİORMANLI	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Erkan GÜLER	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Mehmet Volkan ÖZDOĞAN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Çelik TATAR	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Uğur TEKİR	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Çağrı ÇERİK	Dokuz Eylül Üniversitesi
Mehmet Emre KILINÇ	Dokuz Eylül Üniversitesi
Şahin GÜLERYÜZ	Dokuz Eylül Üniversitesi
İlhan ÇOLAK	TMMOB Maden Mühendisleri Odası İzmir Şubesi
Tülay SUİÇMEZ	TMMOB Maden Mühendisleri Odası İzmir Şubesi
Arzu OĞUZKURT	TMMOB Maden Mühendisleri Odası İzmir Şubesi
Abidin YAVAŞ	TMMOB Maden Mühendisleri Odası İzmir Şubesi
Şule BEYTER	Yeniköy ve Kemerköy Elektrik Üretim ve Tic. A.Ş.
Ergin KAHRAMAN	Polyak Eynez Enerji Üretim Mad. San. Ve Tic. A.Ş.
Çağlar ÖZTÜRK	Karaelmas Ortak Sağlık Güvenlik Birimi

THE EXECUTIVE BOARD OF THE CHAMBER OF MINING ENGINEERS
TMMOB MADEN MÜHENDİSLERI ODASI YÖNETİM KURULU

***President* / Başkan**	**:** Ayhan YÜKSEL
***Vice President* / II. Başkan**	**:** Bülent TOKA
***Secretary* / Yazman**	**:** Veyis SIR
***Treasurer* / Sayman**	**:** Mehmet ZAMAN
***Members* / Üyeler**	**:** Pelin KERTMEN ÖZER
	: Alper ENTOK
	: Fatih TÜTÜNCÜ

THE EXECUTIVE BOARD OF İZMİR BRANCH OF THE CHAMBER OF MINING ENGINEERS
TMMOB MADEN MÜHENDİSLERI ODASI İZMİR ŞUBE YÖNETİM KURULU

***President* / Başkan**	**:** Aykut AKDEMİR
***Vice Presiden t*/ II. Başkan**	**:** Mustafa HACARLIOĞLU
***Secretary* / Yazman**	**:** Mevlüt Kemal ÇAKMAK
***Treasurer* / Sayman**	**:** İlhan ÇOLAK
***Members* / Üyeler**	**:** Arzu Oğuzkurt DOĞAN
	: Ergül ÇATALBAŞ
	: Seray ÇAKAR

***SCIENTIFIC COMMITTEE*/ BİLİMSEL KURUL**

Prof. Dr. G. Gülsev UYAR AKSOY	Hacettepe Üniversitesi
Prof. Dr. Gökhan AYDIN	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Niyazi BİLİM	Konya Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. İsmet CANBULAT	University of New South Wales
Prof. Dr. Kaan ERARSLAN	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Prof. Dr. Osman Alparslan ERGÖR	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Melih GENİŞ	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi
Prof. Dr. Melih İPHAR	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Prof. Dr. İzzet KARAKURT	Karadeniz Teknik Üniversitesi
Prof. Dr. Mehmet Sıddık KIZIL	The University of Queensland
Prof. Dr. Gürcan KONAK	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Kerim KÜÇÜK	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Turgay ONARGAN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Ümit ÖZER	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Prof. Dr. Pınar Mızrak ÖZFIRAT	Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Prof. Dr. Serkan SAYDAM	University of New South Wales
Prof. Dr. Oktay ŞAHBAZ	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Prof. Dr. Sezai ŞEN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Prof. Dr. Suphi URAL	Çukurova Üniversitesi
Prof. Dr. Önder UYSAL	Kütahya Dumlupınar Üniversitesi
Prof. Dr. Olgay YARALI	Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi
Prof. Dr. Mahmut YAVUZ	Eskişehir Osmangazi Üniversitesi
Doç. Dr. Ayşe COŞKUN BEYAN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Esma KAHRAMAN	Çukurova Üniversitesi
Doç. Dr. Mete KUN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Doç. Dr. Erkan ÖZKAN	Afyon Kocatepe Üniversitesi
Doç. Dr. Gül AKAR ŞEN	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. Mahmut Suat DELİBALTA	Niğde Ömer Halisdemir Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. İlknur EROL	Çukurova Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. Dilek ESER	Dokuz Eylül Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. Abdulkadir KARADOĞAN	İstanbul Üniversitesi-Cerrahpaşa
Dr. Öğr. Üye. Ayla TEKİN	Manisa Celal Bayar Üniversitesi
Dr. Öğr. Üye. Abdulkadir ÜRÜNVEREN	Çukurova Üniversitesi
Öğr. Gör. Fırat TEKİN	Manisa Celal Bayar Üniversitesi

CONTENTS / İÇİNDEKİLER

SUNUŞ iii
ÖNSÖZ..... iv
FOREWORD…… v
ORGANIZED BY/ ORGANİZASYON KURULU ……. vi
EXECUTIVE BOARD of UCTEA/ TMMOB YÖNETİM KURULU …… vii
SCIENTIFIC COMMITTEE/ BİLİMSEL KURUL …… viii
PROCEEDINGS / BİLDİRİLER ……..... x

PROCEEDINGS / BİLDİRİLER

Kömür Madenciliğinde Yeraltı Açıklıklarında Yaşanan Göçük Kazalarında Yatay Gerilmelerin Etki Düzeyinin Araştırılması
Investigation of The Impact Level of Horizontal Stresses in Collapse Accidents in Underground Openings in Coal Mining
T. Onargan, M. K. Özfırat, M. E. Yetkin**……** 1

Madenlerde Toz Riski ve Sağlık İzlemi
Dust Risk and Health Surveillance in Mines
A. Coşkun Beyan**……...** 19

Madencilikte İş Makinesi Operatörü Eğitiminde VR Destekli İSG Uygulamaları
VR Supported OHS Applications in Mining Construction Equipment Operator Training
Y. Yahşi**……..** 25

Maden Ocaklarındaki Yüzey Deformasyonlarının Uydu Radar Verilerinden MineSAR Yazılımı ile İzlenmesi
Monitoring Surface Deformations in Mines From Satellite Radar Data With MineSAR Software
Y. Gül, F. Poyraz, K. Ö. Hastaoğlu**……..** 29

Madencilikte İş Güvenliği ve Sendikalaşma
Occupational Safety and Unionization in Mining
Ö. Günay**……...** 45

Balık Kılçığı Analizi ile Yeraltı Kömür Madenciliğinde Güvenli Üretim
Safe Production In Underground Coal Mining With Fishbone Analysis
A. K. Eyüboğlu, M. K. Özfırat, M. E. Yetkin**……...** 59

İş Kazası Kavramına Yeni Bir Tanım İhtiyacı
The Need of A New Definition for The Concept of Work Accident
A. Ekici**……..** 76

Eğitim, İş Sağlığı ve Güvenliği Otomasyonu İSGTAKİP
Education, Occupational Health and Safety Automation ISGTAKIP
M. O. Kaya, M. O. Kaya**……....** 83

Yeraltı Madenciliğinde Reba ve Rula Yöntemiyle Ergonomik Risk Analizi
Ergonomic Risk Analysis In Underground Mining Using The Reba and Rula Methods
Ö. Aksu, Y. Keskin, F. Özdemir, S. Has, P. M. Özfırat**……..** 99

Elektrik Panolarının Termal Görüntüleme Yöntemi ile Değerlendirilmesi
Evaluation of Electrical Panels With Thermal Imaging Method
O. Gora, M. Kun**……..** 113

Yeraltı Kömür Madenlerinde Oluşabilecek Olası Patlamalara Karşı Pasif Temel Korunma Tedbirleri ve Gelişimleri
Passive Fundamental Protection Measures and Developments Against Possible Explosions in Underground Coal Mines
H. Şen, S. Schulte-Wantia, M. Çağlar, M. T. Stöttner**……...** 123

Yeraltı Kömür Ocaklarında Yangınlı ve Barajlanmış Sahaların Yeniden Açılması
Reopening of Sealed Districts in Underground Coal Mines
K. Barış, N. Ünlü**…….** 147

Yeraltı Maden İşletmesinde İş Makineleri Yangın Riski Ve Önleme Tedbirleri
Fire Risk and Prevention Measures for Mobile Equipment in An Underground Mine
S. Arıcı, M. Aras**……....** 176

Çözelti Madenciliğinde İş Sağlığı ve Güvenliği
Health and Safety in Solution Mining
C. Çevik, A. Öztürk**……...** 219

Yerleşim Alanına Yakın Bir Kırmataş Ocağında Kaya Düşme Potansiyelinin İş Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi
Evaluation of Rockfall Potential in A Crush Stone Quarry Close to A Residential Area in Terms of Occupational Safety
İ. Çobanoğlu, İ. Dinçer, S. B. Çelik, K. Gireson**……** 255

Patlamadan Korunma Dokümanı: Tarihsel Gelişimi ve Uluslararası Mevzuattaki Karşılığı–"Davy Lambasından Yapay Zeka Destekli Sistemlere: Güvenlik Teknolojilerinde Evrimsel Bir Yaklaşım"
Explosion Protection Document: Historical Development and İts Correspondence in İnternational Legislation–"From The Davy Lamp to AI-Supported Systems: An Evolutionary Approach in Safety Technologies"
J. Demirören, M. A. Demirören**……..** 280

Fenol Dolgu Köpüğü Uygulamasında Fenol ve Formaldehit Gaz Ölçümleri: Örnek Vaka Çalışması
Phenol and Formaldehyde Gas Measurements in Phenolic Foam: Application Case Study
C. Tuz, E. C. Iğdır**……** 304

AB Perspektifinden Güvenli Madencilik İçin Atık Yönetiminde Yol Haritası Ve Afet/ Acil Durum Farkındalığı
Roadmap and Disaster/Emergency Awareness in Waste Management for Safe Mining from EU Perspective
A. K. Özdoğan, G. Özdoğan, A. Akbulut**…….** 316

Trakya Bölgesindeki Mekanize Kömür Üretimi Yapan Bir Yeraltı Kömür Madeninde İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Yönetimi
Occupational Health and Safety Risk Management in A Mechanized Underground Coal Mine in The Thrace Region
O. Yazıcı, İ. Durna, G. Karşı, Ö. Varol, S. C. Tosmak**……...** 333

Madencilik Faaliyetlerinde Yaşanan Metan Gazı Patlaması Kaza Örnekleri ve Yeraltı Kömür Madenlerindeki Metan Gazı Drenajının İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Açısından Değerlendirilmesi
Methane Gas Explosion Accident Examples in Mining Activities And Evaluation of Methane Gas Drainage in Underground Coal Mines in Terms of Worker Health and Occupational Safety
Ş.Güleryüz, Ç. Pamukçu**……..** 350

Yeraltı Maden İşlerinde Domuz Damı Uygulamasına Yönelik Ergonomik Risk Değerlendirmesi: Reba Yöntemiyle Bir Alan İncelemesi
Ergonomic Risk Assessment for The Application of Chock Support in Underground Mining Works: A Field Study With Reba Method
O. Çelikdağ**……...** 386

Yangınların Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanı Bakış Açısından Değerlendirilmesi
Evaluation of Fires From The Perspective of Dangerous Goods Safety Advisor
A. Cayık**……** 405

Yeraltı Maden İşletmelerinde Yapay Zekâ Destekli İş Güvenliği Tedbirlerinin Arttırılması
Increasing Artificial Intelligence-Supported Occupational Safety Measures in Underground Mining Operations
S. Bodur**……** 423

İş Sağlığı ve Güvenliğinde Makine Öğrenmesi Üzerine Bibliyometrik Bir Analiz
A Bibliometric Analysis on Machine Learning in Occupational Safety and Health
A. Özırmak, M. Kun……... 439

Ahşap Tahkimatların Deformasyon ve Güvenlik Risklerinin Fine-Kinney Yöntemi ile Analizi
Analysis of Deformation and Safety Risks of Wooden Supports Using The Fine-Kinney Method
T. Şahin, O. Öz, E. Özkan**……...** 458

Yeraltı Kömür Ocaklarında Gazı İzleme Sıstemının Endüstri 4.0 Teknolojileriyle Entegrasyonu
Integration of Underground Coal Gas Monitoring System with Industry 4.0 Technologies
E. Özkan, M. K. Özfırat, O. Öz, A. K. Eyüboğlu**…….** 470

Cevher Hazırlama ve Zenginleştirme Tesislerinde Üretim Sırasında ve Sonrasında Karşılaşılan İş Sağlığı ve Güvenliği Risklerinin Değerlendirilmesi
Evaluation of Occupational Health and Safety Risks During and After Production in Mineral Processing and Beneficiation Plants
Y.Çinçin**……** 486

Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği İkliminin Geliştirilmesi Projesi Tanıtımı: Örnek Çalışma-1. Faz Sonuçları
Case Study on Improving Occupational Health and Safety Climate in Mines
C. O.Aksoy, K. Küçük, E. Güler, A. Hamdi Deliormanlı, G. G. Uyar Aksoy, A. B. Aktaş, Y. Aydemir, A. Aruer, Ö. F. Yıldız, B. Küçükaytan, Y. Dağ, L. Necipoğlu, H. Koç, Ç. Ökten, Y. K. Uzuner…… 496

Bir Kömür Açık Ocağı (Erzincan-Çayırlı) Döküm Sahası İçin Şev Duraylılığının Değerlendirilmesi
Investigation of Slope Stability for A Dump Site of Surface Coal Mine (Erzincan-Çayırlı)
B. Şengün, B. Erdem, A. Ceylanoğlu…….. 509

Maden İşletmelerinde Sürdürülebilir İSG Yönetimi İçin ISO 45001 Standartının Rolü
The Role of ISO 45001 Standart for Sustainable OHS Management in Mining Enterprises
G. A. Eraltan, Ç. Pamukçu…….. 523

Madenlerde İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Yapay Zeka Uygulamaları
Artificial Intelligence Applications in Occupational Health and Safety in Mines
B. A. Dilek, D. Topkaya Taşkıran…….... 533

Yüksek Riskli Sektörlerde İş Sağlığı ve Güvenliği Uygulamaları: Madencilik Örneği
Occupational Health and Safety Practices in High-Risk Sectors: The Case of Mining
F. Ulukaya…… 548

Yeraltı Patlayıcı Madde Depolarında Toprak Kalınlığı ve Galeri Uzunluğunun İlgili Yönetmelik Çerçevesinde Değerlendirilmesi
Evaluation of Soil/Rock Thickness and Gallery Length in Underground Explosive Storage Areas Regarding The Relevant Regulations
M. E. Kılınç, D. Karakuş, T. Öngen, N. Kirişçioğlu……... 560

Yeraltı Madenciliğinde Personel Takip Sistemleri Üzerine Yapılmış Çalışmalar
Studies on Personnel Tracking Systems in Underground Mining
T. Doğan, Z. Duran, M. Genç…….. 571

KÖMÜR MADENCİLİĞİNDE YERALTI AÇIKLIKLARINDA YAŞANAN GÖÇÜK KAZALARINDA YATAY GERİLMELERİN ETKİ DÜZEYİNİN ARAŞTIRILMASI

INVESTIGATION OF THE IMPACT LEVEL OF HORIZONTAL STRESSES IN COLLAPSE ACCIDENTS IN UNDERGROUND OPENINGS IN COAL MINING

Turgay Onargan, Muharrem Kemal Özfırat, Mustafa Emre Yetkin
Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZ: Yeraltı kömür madenleri, kömür madenciliği süreci sırasında tavandan blok düşmesi, gaz patlaması, yüzey çökmesi vb. gibi birçok gizli tehlikeye maruz kalmaktadır. Tavan göçüklerinin ciddi tahribatı göz önüne alındığında, göçük, aşırı deformasyonlar ve blok düşmesi gibi istenmeyen olayların gelişimine katkıda bulunan ana faktörleri jeolojik belirsizlik, stres değişimi, madencilik koşulları, çevre ortamı ve kurumsal güvenlik yönetimi olarak tanımlamak mümkündür. Bu çalışmada yeraltı kömür madenciliğinde göçüğe neden olan etkenlerden gerilme durumu ve yatay gerilmelerin yeraltı açıklık tasarımlarında ve istenmeyen kazalardaki etki düzeyinin araştırılma sonuçları verilmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kömür madenciliği, göçük kazaları, yatay gerilmeler.

ABSTRACT: *Underground coal mines suffer many hidden hazards during the coal mining process, such as roof fall, gas explosion, surface subsidence, and so on. Considering the serious destruction of roof collapses, it is possible to identify the main factors contributing to the development of undesirable events such as collapses, extreme deformations and block falls as geological uncertainty, stress change, mining conditions, environmental and corporate mine safety management. In this study, the results of investigating the effects of stress state and horizontal stresses, which are factors that cause collapse in underground coal mining, on underground opening designs and undesirable accidents are given.*

Keywords: *Coal mining, collapse accidents, horizontal stresses.*

1. GİRİŞ

Yeraltı kömür madenciliğinde yeraltı açıklıklarının uygun tasarımı sayesinde, madencilik süreci boyunca gerilme durumu ve madencilik koşulları tahmin edilebilir. Ancak jeolojik belirsizlik yeraltı maden sahalarının doğasında vardır ve tahmin edilmesi oldukça zordur. Jeolojideki belirsizlik gerilme koşullarının önceden tahminin güçleştirecek ve göçük riskini de artıracaktır. Olası tehlikelere karşı risk değerlendirme çalışmaları yeraltı madencilik süreci boyunca zorunlu bir gerekliliktir. Ülkemizdeki yeraltı kömür madenleri, kömür madenciliği süreci sırasında göçük, gaz patlaması, yüzey çökmesi, ani gaz, toz ve su patlaması vb. gibi birçok gizli tehlikeyle mücadeleye maruz kalmaktadır.

Yeraltı açıklıklarında meydana gelen göçüklerin ciddi can ve mal kaybına neden olduğu göz önüne alındığında, birçok araştırmacı (Tutak ve Brodny, 2019; Yaslı ve Bolat, 2019; Song vd., 2020) yer altı kömür madenleriyle ilişkili göçüklerin meydana gelmesi üzerine birçok çalışma yapmışlardır. Bazı araştırıcılar (Shen vd., 2017; Atangana vd., 2021; Tubis vd., 2020) göçük olayının gelişimine katkıda bulunan ana faktörleri jeolojik belirsizlik, gerilme durumu ve değişimi, madencilik koşulları, çevre ortamı ve kurumsal güvenlik yönetimi olarak tanımlamışlardır. Geçmiş yıllardan günümüze kadar Türkiye'nin çeşitli bölgelerindeki kömür ve diğer maden ocaklarında meydana gelen kazalarda 1941 yılından bu yana 3 binden fazla insan maden kazalarında ölmüştür. 100 binden fazla insan ise yaralanmıştır. Madenlerde en çok görülen kaza sebepleri ise grizu patlaması, göçük ve yangınlardır.

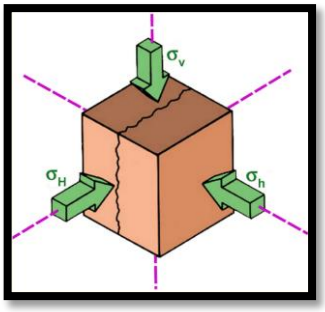
Bilindiği üzere yerinde kaya gerilmesi (in-situ gerilme), yeraltı aktiviteleri ve tabakalardaki mühendislik tarafından bozulmayan doğal gerilmedir (Cai, 1993; Zhang vd., 1997). Bu gerilme düzeyi, yerçekimi, tektonik hareket ve tektonik gerilmelerin entegre etkisinin bir sonucudur. Birçok madencilik faaliyetinde, galeri çevresindeki kayanın yenilmesi, kaya patlaması tehlikelerinin öngörülmesi ve önlenmesi ve üstteki kaya tabakalarının deformasyonu ve kayması dahil olmak

üzere üretim sürecindeki büyük teknik sorunların hepsinin yerinde kaya stresiyle yakından ilişkili olduğunu kanıtlamıştır (Qian vd. 2003; Yang vd. 2013). Birincil gerilme olarak da tanımlanan yerinde kaya gerilmesi ölçümü için değişik yöntemler kullanılmaktadır. Bunları; Gerilme Rölyef Yöntemi, Hidrolik Çatlatma Yöntemi ve Akustik Emisyon Yöntemi ile Flat Jack yöntemi olarak saymak mümkündür. Bu yöntemlerin kendi aralarında avantaj ve dezavantajları da bulunmaktadır. Eşdeğer kazı yarı çapı kavramına dayanarak, açıklığı çevreleyen kaya kütlesinde kazı sonrası oluşacak plastik bölge dağılımının, açıklığın eşdeğer kazı yarıçapıyla yakından ilişkili olduğu önceki çalışmalarda belirlenmiştir. Bu çalışmada mevcut literatür temelinde bugüne kadar kömür madenlerinde yaptığımız çalışmalardan elde edilen pratik ve uygulamalı sonuçlar tartışılmış ve değerlendirilmiştir.

2. YERALTI AÇIKLIKLARINDA YERİNDE KAYA GERİLMELERİNİN ETKİSİ VE ANALİZİ

2.1. Birincil (İlksel) Gerilmeler ve Maksimum Yatay Gerilmelerin Yönleri ve Büyüklükleri

Doğal (birincil) kaya gerilmeleri düşey ve yatay olmak üzere 3 boyutta ifade edilmektedir. Bunlardan düşey gerilme yerçekimi ve belirli derinlikteki kaya yoğunluğuna bağlı olarak hesaplanan gerilme büyüklüğünü ifade eder (σv). Yatay gerilme ise iki eksende meydana gelmekte olup birisi minimum yatay asal gerilme (σh), diğeri ise maksimum yatay asal gerilme (σH) olarak tanımlanmaktadır (Şekil 1). Mevcut literatürde yatay gerilmelerin yeraltında neredeyse her yerde mevcut olduğu yaygın olarak kabul edilmektedir. Genellikle düşey gerilmelerden daha şiddetlidir. Bu da yeraltı açıklıklarında tavan kontrol sorunlarının başlıca nedenidir.



Şekil 1. Yerinde kaya gerilmeleri (In-Situ Birincil/İlksel Gerilmeler)

İlksel (birincil) gerilmeler yerinde kaya gerilmesi olarak ölçülemediği durumlarda, teoriden ve ampirik olarak belirlenmiş olan gerilme koşullarından değerlendirilebilirler. Ancak, yeraltındaki gerilme modelini karmaşıklaştırma eğiliminde olan bazı özelliklerin de bulunduğu göz önüne alınmalıdır. Kaya mekaniği araştırmacıları madenlerde yerinde basınçları ölçmeye başladıklarında, birçok durumda yatay gerilmelerin aslında düşeyi, genellikle üç veya daha fazla faktörle aştığını belirlemişlerdir (Dahl ve Parsons, 1972; Hoek ve Brown, 1980).

Ortalama yatay gerilimin düşey gerilime oranı K katsayısı ile tanımlanmaktadır. K oranını veya yatay gerilimi tahmin etmek, düşey gerilimden çok daha zordur. K oranını tahmin etmek için kullanılan teorik ve ampirik yöntemler Çizelge 1'de özetlenmiştir.

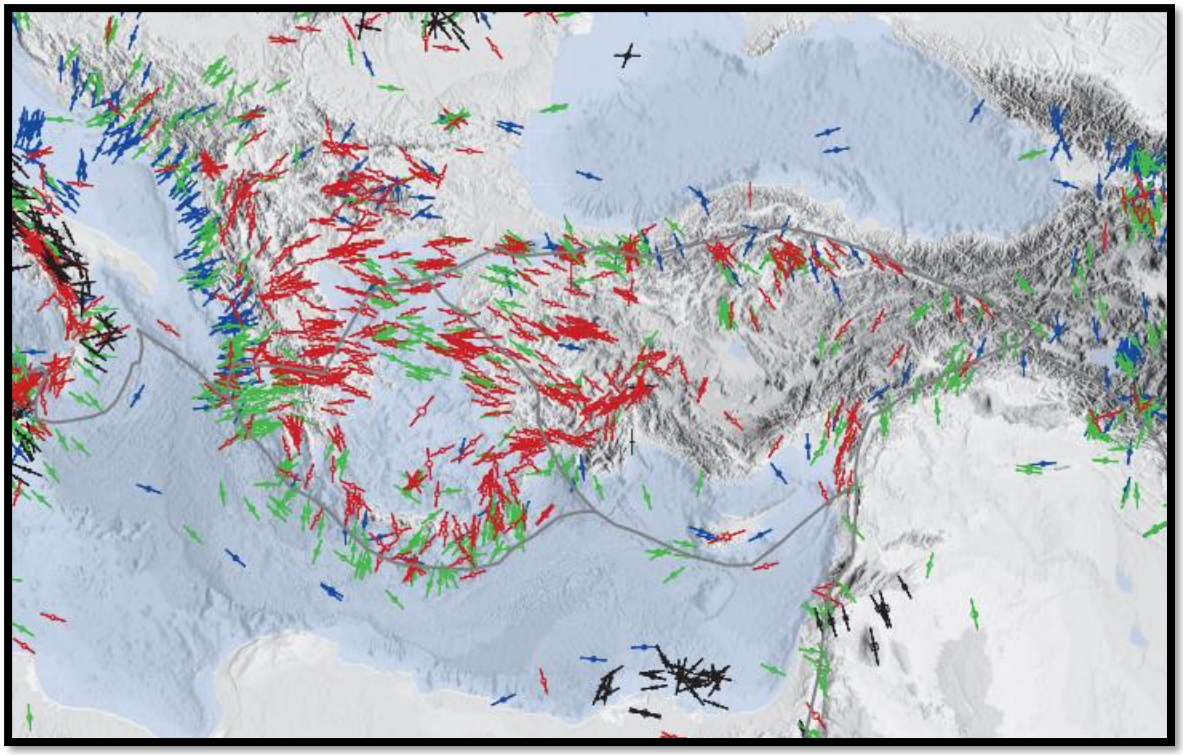
Çizelge 1. Ortalama yatay ve düşey gerilme oranı tahmin yöntemleri (σh / σv) (Moomivand vd., 2022)

Yazarlar	Denklem Parametresi	Denklem
Terzaghi ve Richard (1952)	n: Poisson oranı	K = v / (1 - v)
Sheorey (1994)	Z: Derinlik (m) E_i: Elastisite modülü (GPa)	$K = 0.25 + 7E_i \times (0.001 + 1/Z)$
Brady ve Hoek (1978)	Z: Derinlik (m)	0.3 + 100/Z < K < 0.5 + 1500/Z
Arjang (1997)	Z: Derinlik (m)	K = 5.13 × Z^(-0.16)

Diğer önemli olan konu ise ilksel (birincil) gerilmelerden maksimum yatay gerilme yönlerinin Türkiye'deki birçok yeraltı kömür madeninde özellikle KB-

GD doğrultulu olduğu da Dünya gerilim haritası (Şekil 2.) incelendiğinde açıkça görülen bir husustur. Bu ilksel gerilmelerden maksimum gerilme yönleri gerek yeraltı kömür madenciliğinde gerekse açık işletmelerde tasarım çalışmalarında göz önünde bulundurulması gereken en önemli unsurların başında gelmektedir.

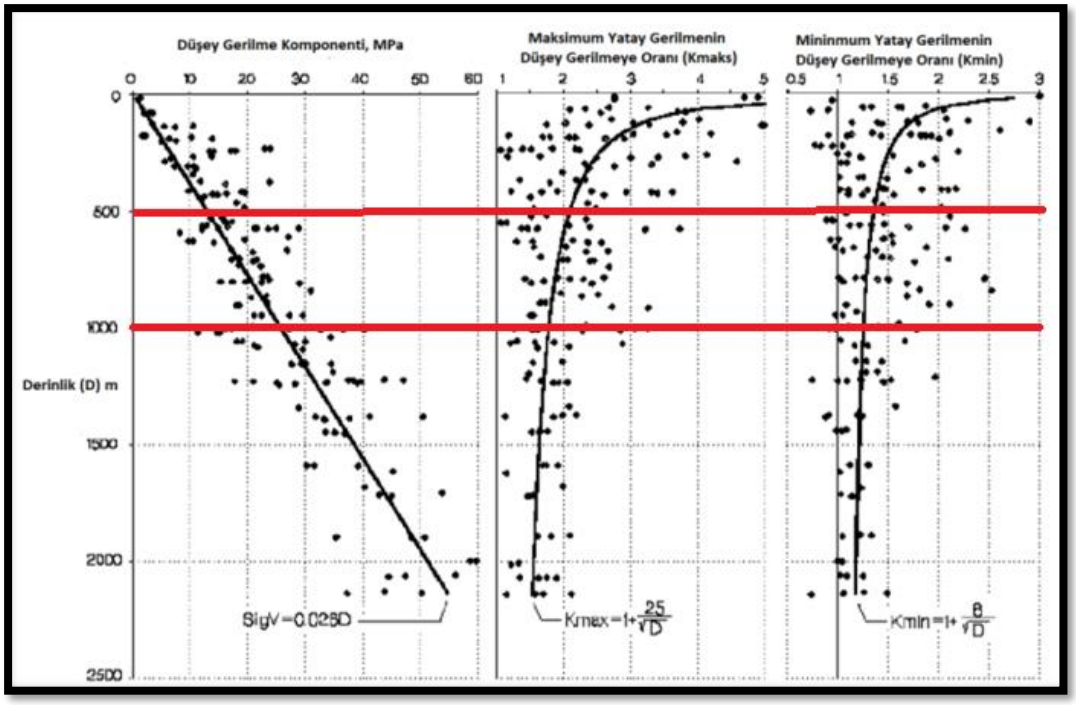
Yerinde (insitu) gerilmelerini tahmin etmek için mevcut bilinen yönlemlerde gerilme artışları genelde derinlikle doğrusaldır ve derinlikteki gerilmelerin abartılı duruma gelmesine neden olmaktadır. Buna karşılık tecrübeler göstermiştir ki derinlik, gerilme (stres) profilleri doğrusal olmayan fonksiyonlarla daha gerçekçi bir şekilde temsil edilmektedir. Çünkü stresler Heim (Heim's Rule) kuralına göre basınç ve derinlik altındaki sıcaklık altında eşitleme eğilimindedir. Aşağıda Şekil 3'de, birincil yerinde gerilmeleri tahmin etmek için önerilen grafik verilmiştir. Aşağıdaki çizelgede 3 farklı derinlik için Diederichs 2000 grafiğine göre ilksel gerilme büyüklükleri verilmiştir. Şekil 4'de ise Ek (GPa) yatay yönde yerkabuğunun üst bölümünde ölçülen ortalama deformasyon modülü dikkate alınarak oluşturulmuş K oranının belirlenmesinde kullanılan grafik verilmektedir. Bu grafiğe göre de 1000 metre derinliğe göre hesaplanan değerler Kmin 1,27, Kmaks ise 1,82 dir. Deformasyon modülüne göre hesaplama de ise Kmaks değeri 1,65 olarak belirlenmiştir. Bu değerler toplu olarak Çizelge 2'de verilmiştir.



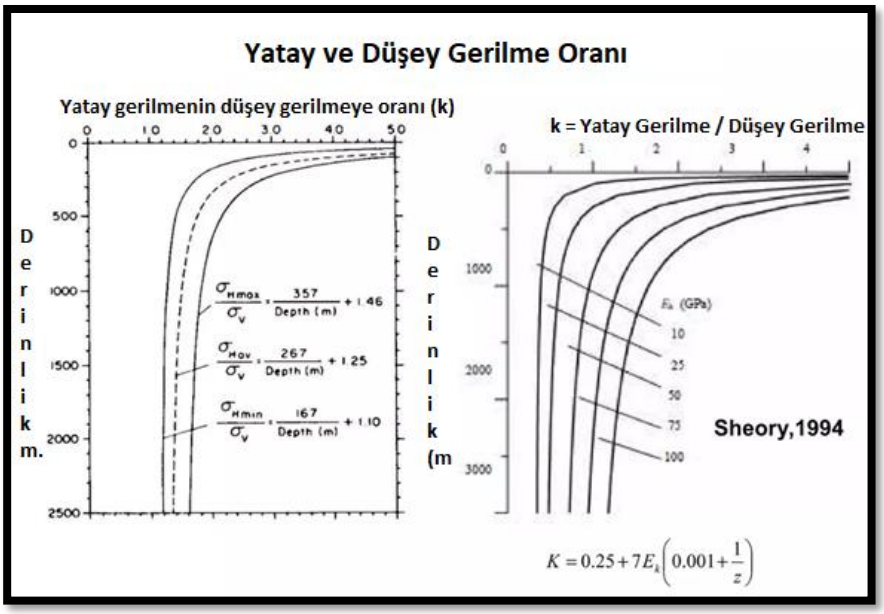
Şekil 2. Dünya doğal gerilim haritasında Türkiye'nin batısında belirlenmiş olan maksimum asal gerilme doğrultusunun gösterimi (Stress Map of the Mediterranean and Central Europe, 2016)

Çizelge 2. İnceleme alanı için doğal gerilme tensörü bileşenlerinin hesaplanmış (Diederichs, 2000' e göre) değerleri.

Derinlik (m)	Düşey Gerilme(σv) MPa	K = σh /σv		Yatay Gerilme (σh) MPa	
		Kmin	Kmaks	σy_min	σy_maks
500	13.00	1.36	2.12	17.68	27.56
750	19.50	1.29	1.91	25.15	37.24
1000	26.00	1.25	1.79	32.50	46.54



Şekil 3. Birincil gerilme sensörleri için lineer olmayan tahmini eğri grafikleri (Diederichs, 2000).



Not: Ek (GPa) yatay yönde yerkabuğunun üst bölümünde ölçülen ortalama deformasyon modülüdür.

Şekil 4. Yatay ve düşey gerime oranının derinliğe bağlı değişimi grafiği (Sheory, 1994)

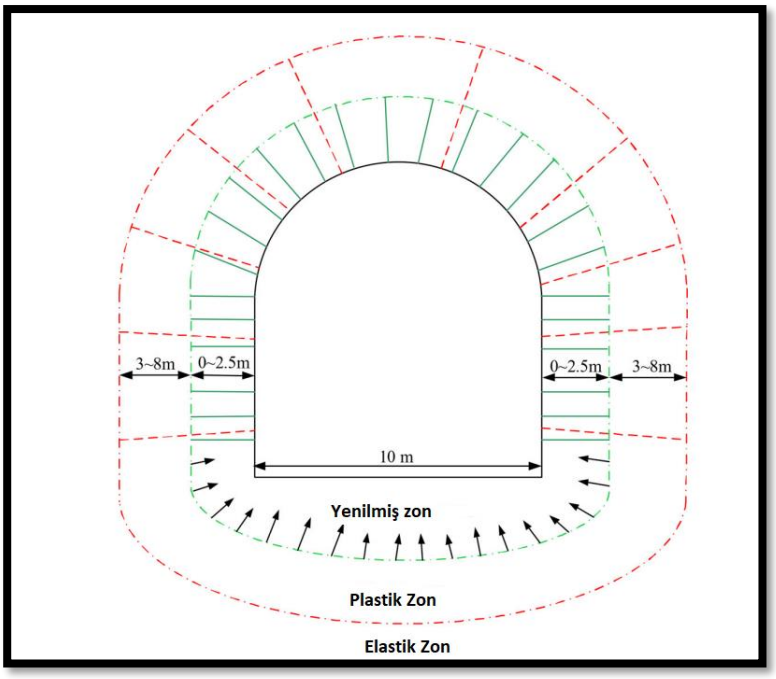
2.2. Yeraltı Açıklıklarında Oluşan İkincil Gerilmeler ve Etkileri

Yeraltı kömür madenciliğinde yeraltı açıklıları açıldığında ortamdaki orijinal/bakir/birincil gerilme durumu bozulmaktadır. Aşağıda Şekil 5'de galeri çevresinde oluşan yenilme zonlarının şematik gösterimi verilmektedir. Yeraltı açıklığının duraylılığı ise, açıklığın inşası ile oluşan ikincil/tetiklenmiş gerilmelere, jeolojik yapıya ve kütlenin dayanımına bağlıdır. Bu nedenle, yapının doğru tasarımlanması için, kaya kütlesinin dayanım ve deformasyon özelliklerinin yanı sıra ortamda gelişecek ikincil gerilmelerin bilinmesi gerekmektedir. Bu gerilmeler aşağıda maddeler halinde verilmiştir. Bunlar;

1 – Radyal (Işınsal) gerilmeler

2 – Teğetsel gerilmeler (Şekil 6)

3 – Makaslama gerilmesi (Şekil 7)

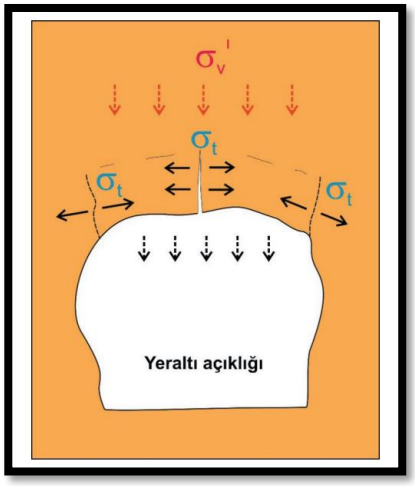


Şekil 5. Galeri çevresinde oluşan yenilme zonlarının şematik gösterimi (Wen vd., 2021)

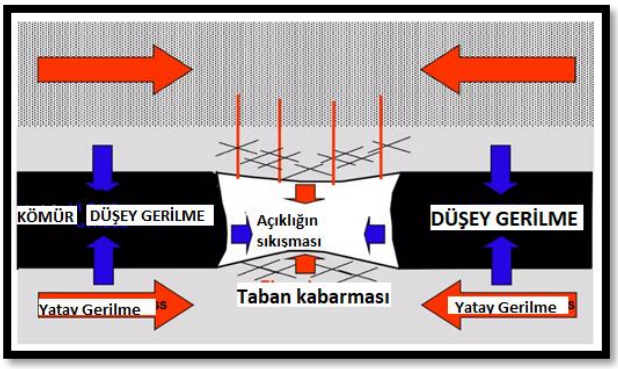
Yeraltında açılacak bir boşluğun gerekli tahkimatının tasarımından önce, beklenebilecek yenilme türlerinin de araştırılması gerekmektedir.

Bu yenilme türlerini dört ana başlık altında toplamak mümkündür.

1. Açılan tünelin etrafında oldukça fazla artan gerilme yoğunlaşmalarının oluşturduğu duraysızlık
2. Açılan tünelin bulunduğu ortamda süreksizliklerin konumuna bağlı olarak olası kama bloklarının oluşturacağı duraysızlıklar.
3. Ayrışmanın neden olduğu ve/veya kil, anhidrit gibi mineralleri içeren zayıf kayalarda şişmenin neden olduğu duraysızlıklar
4. Yeraltı suyu akışı veya basıncı nedeniyle oluşan duraysızlıklar



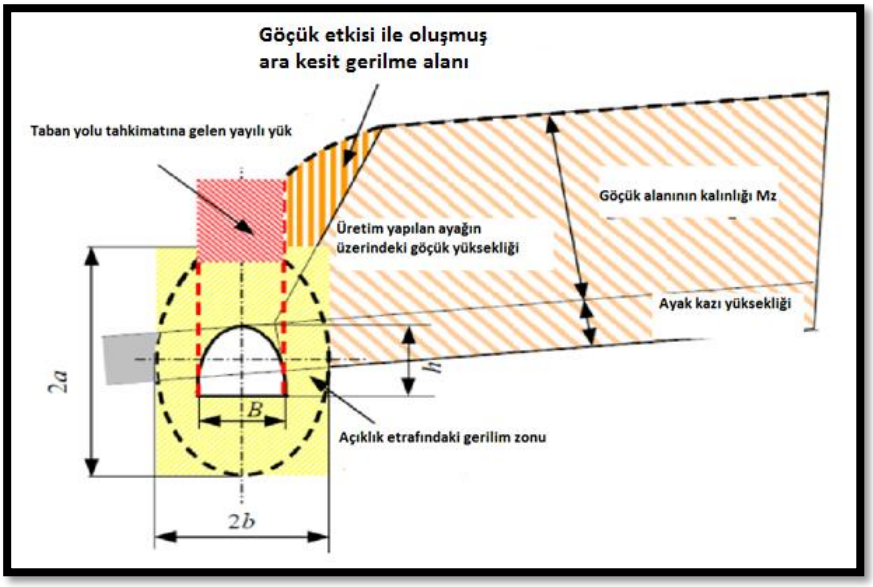
Şekil 6. Yeraltı açıklığında düşey gerilme kaynaklı teğetsel gerilmelerin oluşumunun şematik gösterimi



Şekil 7. Yeraltı açıklığında yatay gerilmenin etkisinin şematik gösterimi

Kalın kömür damarı madenciliğinde değişik seviyelerdeki uzunayak üretimleri sonucunda özellikle alt kotlardaki taban yolları üzerinde giderek artan

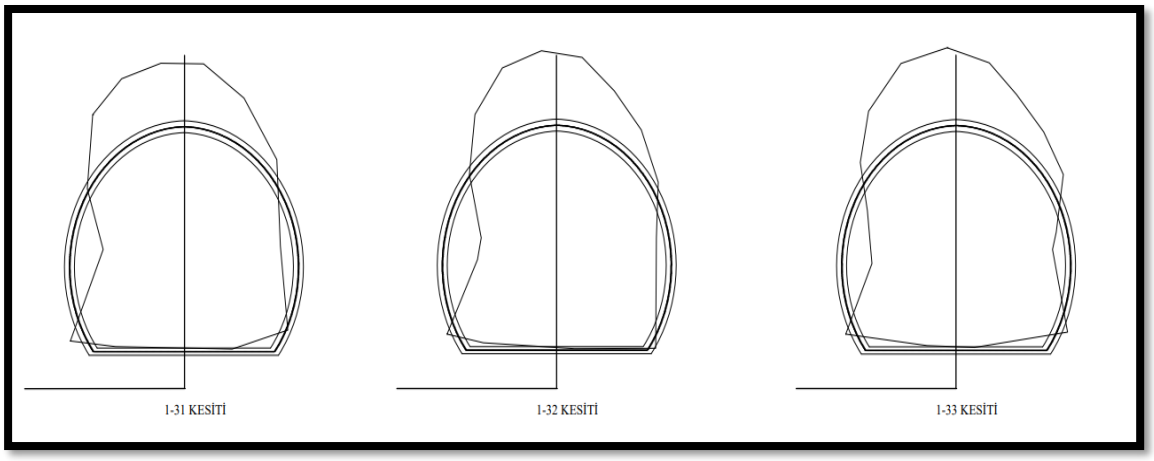
oranda göçük malzemesi birikimi nedeniyle galeri tahkimatına gelen yüklerin zamana bağlı olarak düzenli olarak arttığı görülmektedir. Tahkimata gelen yayılı yüke ilave olarak ek bazı yüklerin oluştuğu görülmekte ve bu nedenle mevcut tasarımlarda öngörülen tahkimat taşıma yüklerinin üzerinde yüklerin tahkimata etki etmesi sonucunda tahkimat elemanları ve galeri kesitinde aşırı deformasyonlar meydan gelmektedir. Aşağıdaki şematik gösterimde (Şekil 8) meydana gelen ek yüklerin hesaplamalarda göz önünde bulundurulması gereken bölümü açık olarak ifade edilmiştir. Şekil 9'da ise fiili durumdan bir örnek görüntü verilmiştir.



Şekil 8. Taban yolu galeri etrafında oluşan gerilme kaynaklarının şematik gösterimi (Onargan vd., 2013)

Şekil 9. Üst katlardaki üretim ve buna bağlı göçükler etkisiyle taban yolunda oluşan ek yükler sonucu taramaya maruz kalmış galeri görüntüsü (Onargan vd., 2013)

Aşağıda Şekil 10'da yeraltı kömür madenlerimizde derin madencilik koşullarında yatay gerilmeye maruziyet sonucu galerilerde görülen deformasyonlar örnek olarak verilmiştir. Şekil 11'de ise uygulamadan birörnekte galeri yan cidarlarında oluşan belirgin deformasyondan bir görüntü verilmektedir.



Şekil 10. M1 formasyonunda sürülmüş olan galerisi en kesitlerinde yatay gerilme etkisi ile gözlenen deformasyon ölçümleri (Onargan, 2022)

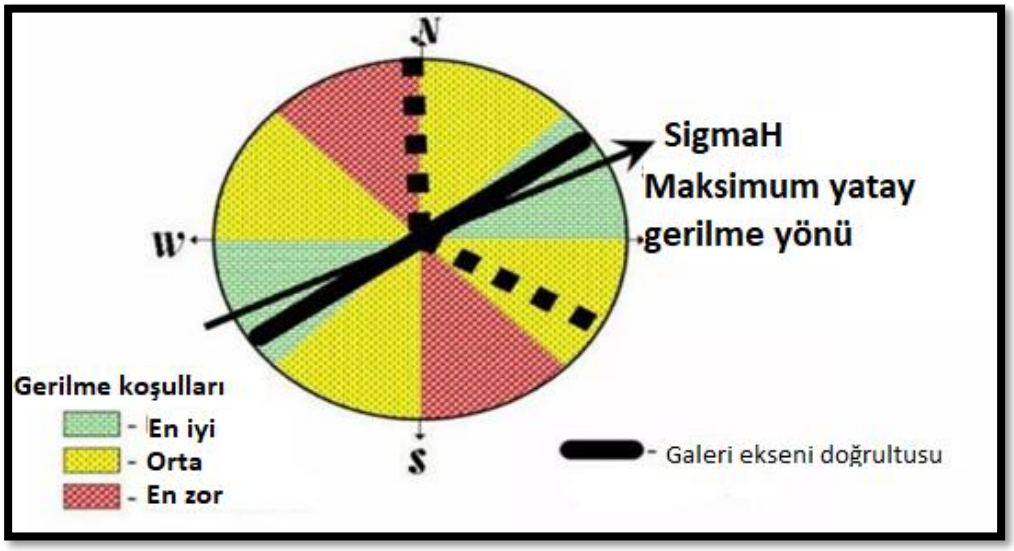
Şekil 11. M1 formasyonunda sürülmüş olan galerinin sağ yan cidarında yatay gerilme etkisine bağlı gözlenen deformasyon görüntüsü (Onargan, 2022)

3. MAKSİMUM ASAL GERİLME DOĞRULTUSUNA GÖRE YERALTI AÇIKLIĞI TASARIM ESASLARI

Ülkemizde yeraltı kömür madenlerinin derin madenciliğe doğru evrilmesiyle birlikte, açıklığın etrafında oluşan yatay gerilmelerin açıklığın duraylılığında önemli bir faktör haline gelmiştir ve yatay gerilimlerin tabakalı yapı üzerindeki etkisi daha karmaşık hale gelmektedir (Mark, 2008).

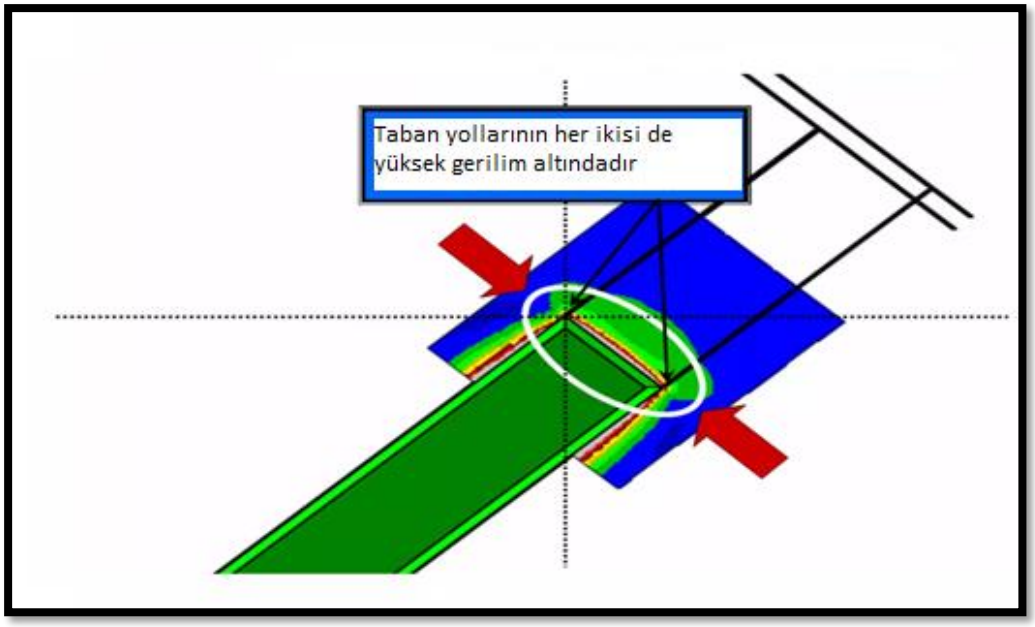
Ülkemizdeki birçok madende açılan yeraltı galeri ve pano tasarımlarında maksimum yatay gerilmeye 90^{o} ve/veya yakın değerlerde tasarımlandırıldığı görülmüştür. Bu da tabakalı ve/veya zayıf kaya ortamında, kömürde açılan gerek hazırlık galerilerinde gerekse taban yollarında aşırı deformasyonlar, taban kabarmaları ve sık tarama gereksinimlerinin ortaya çıkmasına neden olduğu görülmüştür. Aşırı deformasyona uğrayan taban yolları üzerindeki tabakalarda oluşan hareketler sonucu da alternatif hava yolları meydana geldiğinde ocak yangınları ile mücadelede bu durum zorluklara neden olduğu tarafımızdan da tecrübe edilmiştir.

Aşağıda Şekil 12’ de hazırlık galerilerinin eksen doğrultusu ile maksimum yatay asal gerilme doğrultusunun oryantasyonuna ait şematik bir gösterim verilmiştir. Buradan görüleceği üzerine en olumsuz durum maksimum asal gerilme yönüne 90 derece açıyla açılan açıklıkta maksimum yatay gerilme büyüklüğüne bağlı yüksek gerilim ortamının oluşacağı görülmektedir.

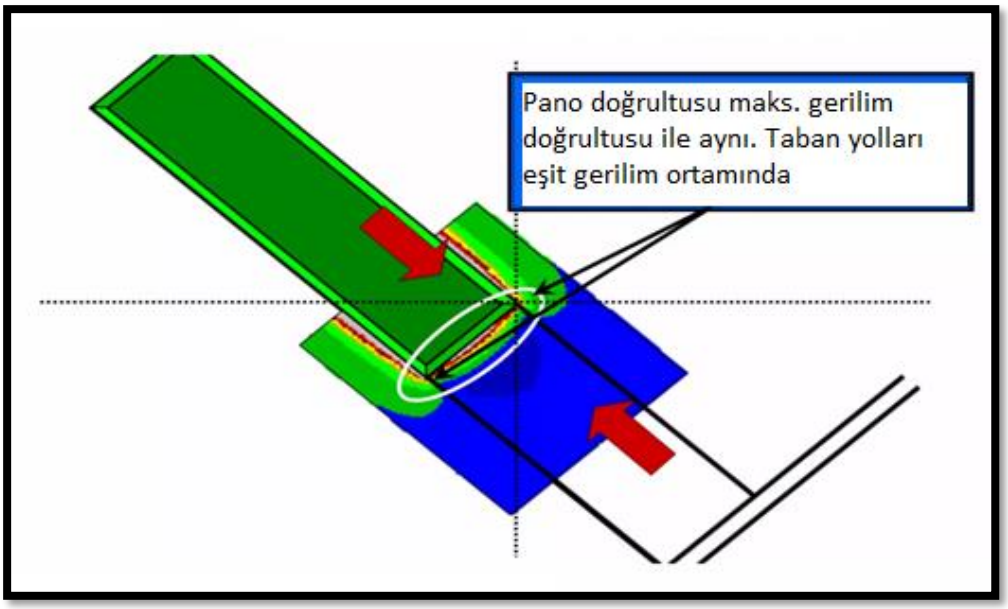


Şekil 12. Maksimum yatay gerilme doğrultusu ile galeri ekseni doğrultusu arasında oryantasyon ilişkisi (NIOSH, 2003)

Uzun ayak pano tasarımlarında da yine maksimum asal gerilme doğrultusu dikkate alınarak pano doğrultularının belirlenmesi gerekmektedir. Aşağıda Şekil 13’de değişik doğrultuya sahip pano tasarımlarında ortaya çıkacak gerilme maruziyetleri kötü ve iyi koşullarda gösterilmiştir.



(a)

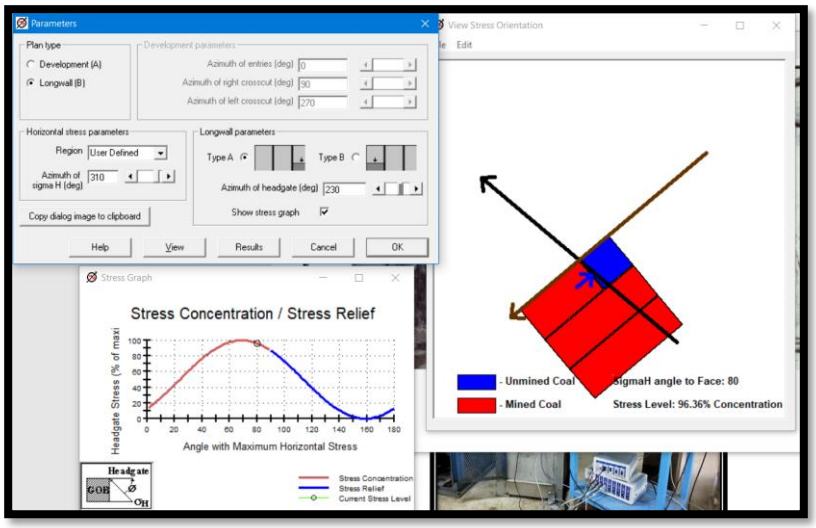


(b)

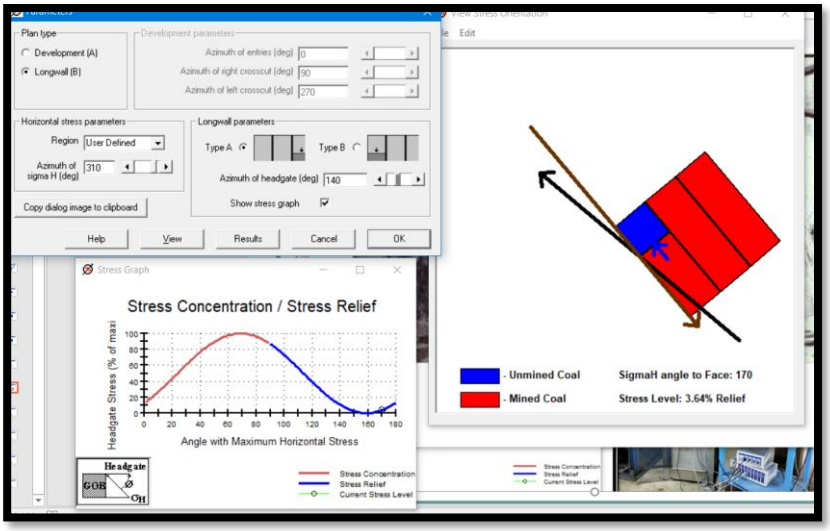
Şekil 13. Uzunayak pano doğrultusu için maksimum yatay gerilme yönüne göre kütü (a) ve iyi (b) tasarım gösterimi (Sankar,2011)

Aşağıda Şekil 14 ve Şekil 15'de Amerika Birleşik Devletleri Ulusal İş Sağlığı ve Güvenliği Kurumu (NIOSH) Pitsburg Araştırma Merkezi kapsamında Dr. Christoper Mark tarafından geliştirilen AHSM yazılımı kullanılarak yapılan

analizde yukarıdaki her iki duruma yakın konumlarda analiz sonuçları elde edilmiştir. Bu analiz sonuçlarına göre maksimum yatay asal gerilmeye 90 derece geçilen tasarımda maksimum yatay gerilmenin %96,36 sına maruz kalınırken, paralele yakın tasarımlandırıldığında bu oran %3,64 e kadar düşmektedir.



Şekil 14. Maksimum yatay gerilmeye 90 derece tasarımlandırılan panodaki gerilme konsantrasyonu ve gerilme rölyefi analiz sonucu



Şekil 15. Maksimum yatay gerilmeye paralel tasarımlandırılan panodaki gerilme konsantrasyonu ve gerilme rölyefi analiz sonucu

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Ülkemizde yeraltı kömür madenciliğinde faaliyet derinliği arttıkça yeraltı açıklıklarda oluşacak gerilme ortamı büyüklükleri de artmakta ve açıklığın fiziksel ve mekanik ortamı temelden değişmektedir. Kömür ve üzerindeki tabakalı çevre kayaçlarında açılan yeraltı açıklıklarında oluşan yenilme ve plastik zon yarıçapları kaya kütle dayanımının azalmasıyla birlikte artmakta genelde açıklık genişliğinin çok üzerinde bir genişlikte etkilenmiş bir bölge oluşmaktadır. Bu gibi durumlarda demir bağa ilave olarak kablo saplamalar daha güvenli tahkimat destek elemanı olarak kullanılmaktadır.

Derin kömür madenciliğinde yüksek yatay gerilime sahip açıklıklarda açıklığın etrafında oluşacak maksimum gerilme büyüklüklerinin kaynağı bölgesel ve yönsel özelliklere sahip olan yatay gerilim değeridir. Yüksek yatay gerilim altında açıklığın tahkimatlandırılması (desteklenmesi) çok zorlaşır ve açıklığı çevreleyen kayaç formasyonları hızla çatlar. Ayrıca açıklık etrafındaki formasyon büyük ölçüde hasar görebilir ve zemin kolaylıkla kabarabilir.

Açıklığın çevresinde meydana gelen yüksek gerilme özellikle galeri yan cidarlarından blok/kama akması, blok hareketliliği ve aşırı deformasyonlar ile tahkimat elemanlarında aşırı bozulma ve açıklığı taramaya zorlayan kapanmalarına neden olmaktadır. Burada yapılması gereken en önemli husus maksimum asal gerilme (maksimum yatay gerilmeler) etkisinin minimum etki yapacağı galeri ve pano doğrultularının tasarımının gerçekleştirilmesidir.

Hazırlık ve pano tasarımları yapılırken jeolojik ve jeoteknik koşulların (damar eğimi, kalınlığı fay durumu v.b.) elverdiği ölçüde asal gerilmelerin doğrultu ve büyüklükleri dikkate alınarak maksimum yatay gerilme doğrultusu ile açıklıkların va panoların doğrultu değerlerinin oryantasyonunun düzgün bir şekilde sağlanması halinde bugüne kadar yaşanmış ve yaşanmakta olan birçok göçük riskinin azalmasının sağlanması mümkün olabilecektir. Bu sayede güvenli

kömür madenciliği koşullarının sağlanmasında önemli bir adım atılmış olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Atangana Njock, P.G.; Shen, S.L.; Zhou, A.; Modoni, G., 2021. Artificial neural network optimized by differential evolution for predicting diameters of jet grouted columns. J. Rock Mech. Geotech. Eng. 2021, 13, 1500–1512.

Cai, M.F., 1993. Review of principles and methods for rock stress measurement, Chinese Journal of Rock Mechanics & Engineering (in Chinese), 12, 275–283.

Dahl, H. D. and Parsons, R.C., 1972. Ground Control Studies in the Humphrey No. 7 Mine, Christopher Coal Div., Consolidation Coal Co. Transactions, Vol. 252, SME-AIME, pp. 211-222.

Diederichs MS., 2000. Instability of hard rockmasses: The role of tensile damage and relaxation. PhD Thesis. University of Waterloo.

Hoek, E. and Brown, E.T., 1980. Underground Excavations in Rock. IMM, 528 pp., London.

Lu, Y., 2008. Research on the Stability Theory and Control of Roadway Surrounding Rock in Tectonic Stress Field, China University of Mining and Technology.

Mark, C. and Gadde, M., 2008. Global Trends in Coal Mine Horizontal Stress Measurements, in Proceedings 27th International Conference on Ground Control in Mining, S.S. Peng, C. Mark, G. Finfinger, S. Tadolini, A.W. Khair, K. Heasley and Y. Luo (eds), 29–31 July, Morgantown, USA, pp. 319–331.

Moomivand, H., Moosazadeh, S., Gilani, S.-O., 2022. A New Empırıcal Approach to Estımate The Ratıo Of Horızontal To Vertıcal In-Sıtu Stress And Evaluatıon Of Its Effect On The Stabılıty Analysıs Of Underground Spaces. Rudarsko-geološko-naftni zbornik 37, 97–107. https://doi.org/10.17794/rgn.2022.3.8

NIOSH, 2003. Releases New AHSEM and ARBS Software Programs To Improve Ground Control. Milestones in Mining Safety and Health Technology, U.S. DEPARTMENT OF HEALTH AND HUMAN SERVICES Centers for Disease Control and Prevention National Institute for Occupational Safety and Health, No: 504, USA.

Onargan, T. 2022. Polyak Eynez A.Ş. Kınık /Elmadere Yeraltı Kömür Madeni Hazırlık Galerilerinin Açılması Çalışmaları Hakkında Bilimsel ve Teknik Görüş Raporu. D.E.Ü. Döner Sermaye İşletmesi Projesi, 28 sayfa, İzmir.

Onargan, T., Küçük, K. ve Aksoy, C.O., 2013. İmbat Madencilik A.Ş. Yeraltı Kömür İşletmesi D4 Panosunda Üretim Sonucunda Taban Yolunda Meyda Gelen Aşırı Deformasyonlar ve Taban Yolu Oturmasının Nedenlerinin Belirlenmesine Yönelik Bilimsel ve Teknik Rapor., D.E.Ü. Döner Sermaye İşletmesi Projesi, 70 sayfa, İzmir.

Qian, M.G., Miao, X.X. & Xu, J.L., 2003. Key Stratum Theory of Rock Control, China University of Mining and Technology Press.

Shen, S.L.; Wang, Z.F.; Cheng, W.C., 2017. Estimation of lateral displacement induced by jet grouting in clayey soils. Géotechnique, 67, 621–630.

Sheorey, P. R. 1994. A theory for In Situ stresses in isotropic and transverseley isotropic rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts, 31(1), 23–34. https://doi.org/10.1016/0148-9062(94)92312-4

Song, G.; Wang, Z.; Ding, K., 2020. Evaluation of the face advance rate on ground control in the open face area associated with mining operations in Western China. J. Geophys. Eng., 17, 390–398.

Stress Map of the Mediterranean and Central Europe, 2016.

Tubis, A.; Werbinska-Wojciechowska, S.; Wroblewski, 2020. Risk Assessment Methods in Mining Industry—A Systematic Review. Appl. Sci., 10, 5172.

Tutak, M.; Brodny, J., 2019. The Impact of the Strength of Roof Rocks on the Extent of the Zone with a High Risk of Spontaneous Coal Combustion for Fully Powered Longwalls Ventilated with the Y-Type System—A Case Study. Appl. Sci., 5312.

U. Siva SANKAR, 2011. insitu Horizontal stress Ground control in undergound mines | PDF www.slideshare.net/sankarsulimella, INDIA.

Wen, W., Shiwei Zhang, Tongqiang Xiao, Yuxi Hao, Dongyin Li & Huamin Li, 2021. Factors that affect the stability of roads around rocks. ISSN: (Print) (Online) Journal homepage: www.tandfonline.com/journals/tgnh20. Published by Informa UK Limited, trading as Taylor & Francis Group.

Yang, X.X., Jing, H.W., Chen, K.F. & Wang, W.L., 2013. Study on influence law of in-situ stress in deep underground rocks onthe size of failure zone in roadway, Journal of Mining & Safety Engineering (in Chinese), 30, 495– 500.

Yaslı, F.; Bolat, B., 2019. A Bayesian Network Analysis for Occupational Accidents of Mining Sector BT. In Proceedings of the International Symposium for Production Research 2018; Durakbasa, N.M., Gencyilmaz, M.G., Eds.; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, 2019; pp. 781–799.

Zhang, H.W, Zhang, W.J. & Nan, C.Q., 1997. Stress measurement of original rock in mining engineering. Journal of Fuxin Mining Science and Technology (in Chinese), 16, 25–29.

MADENLERDE TOZ RİSKİ VE SAĞLIK İZLEMİ

DUST RISK AND HEALTH SURVEILLANCE IN MINES

Ayşe Coşkun Beyan
Dokuz Eylül Üniversitesi Tıp Fakültesi, Göğüs Hastalıkları Anabilim Dalı, İzmir

ÖZ: Madencilik insanlık tarihi kadar eski ancak hiç eskimeyen bir sektördür. TÜİK 2024 yılı verilerine göre madencilik ve taş ocakçılığı işletmelerinde 141.462 çalışan istihdam edilmektedir. Sektörde işin yürütülüş şekillerinden kaynaklanan ve bölgenin kayaç yapısı ile ilişkili olmak üzere toz riski önemli bir mücadele alanıdır. Tozla ilişkili sağlık sorunları solunum sistemi başta olmak üzere tüm sistemlerde ortaya çıkabilecek meslek hastalıkları ve iş ile ilişkili hastalıklara yol açabilmektedir. Bu nedenle primer ve sekonder koruma kapsamında çalışanların işe girişte ve sonrasında periyodik olarak sağlık gözetimi yürütülmelidir. Bu bildiride madencilikte toz ile ilişkili solunum sistemi hastalıklarında sağlık izlemin sürecinde dikkat edilmesi gereken noktalara dikkat çekmek üzere olgu örnekleri sunulacaktır.

Anahtar Kelimeler: Pnömokonyozlar, Toz Riski, Sağlık İzlemi.

ABSTRACT: *The mining sector is as old as human history, yet it never becomes outdated. According to TSI 2024 data, 141,462 people are employed in mining and quarrying enterprises. One of the most significant occupational hazards in this sector is dust exposure, which stems from both the nature of mining operations and the geological characteristics of the region. Dust-related health issues can affect multiple body systems, particularly the respiratory system, and may result in occupational and work-related diseases. Therefore, workers' health surveillance should be conducted at the start of employment and periodically thereafter as part of primary and secondary prevention strategies. This article presents case examples highlighting key considerations in health monitoring for dust-related respiratory diseases in mining sector.*

Keywords: Pneumoconiosis, Dust Risks, Health Surveillance .

1. ÇALIŞMA YAŞAMI SAĞLIK İLİŞKİSİ

1.1. Meslek Hastalıkları ve İş İle Dolaylı Olarak İlişkili Olan Hastalıklar

Çalışma yaşamı sağlık ile doğrudan ilişkilidir. İş sağlığı ve güvenliği (İSG); çalışanların sağlık ve güvenliğini koruma ve geliştirmeye yönelik çalışmalar

yapan multidisipliner bir bilim alanıdır. Dolayısıyla İSG'yi açıklayabilmek için sağlığın tanımını yapmak yerinde olacaktır. Dünya Sağlık Örgütü (DSÖ)'nün sağlık tanımında "yalnızca hastalık ya da engelliliğin olmayışı değil, bedensel, ruhsal ve sosyal yönden tam bir iyilik hali gerekliliği" belirtilmiştir. Bu bağlamda, iş sağlığı tanımı da yalnızca çalışanın hastalığının olmayışı değil; bütüncül olarak bir işin çalışanda bedensel, sosyal, ruhsal yönden iyilik halini sağlaması, koruması ve bunu geliştirmesi başlıklarının hepsinde yeterli olmasını içermektedir. Uluslararası Çalışma Örgütü (UÇÖ) ve DSÖ ortak komitesi iş sağlığını "bütün mesleklerde çalışanların sosyal, bedensel ve ruhsal yönden iyilik hallerinin en üst düzeyde sürdürme ve geliştirme çalışmaları" şeklinde tanımlamıştır (ILO ve WHO, 1957) .

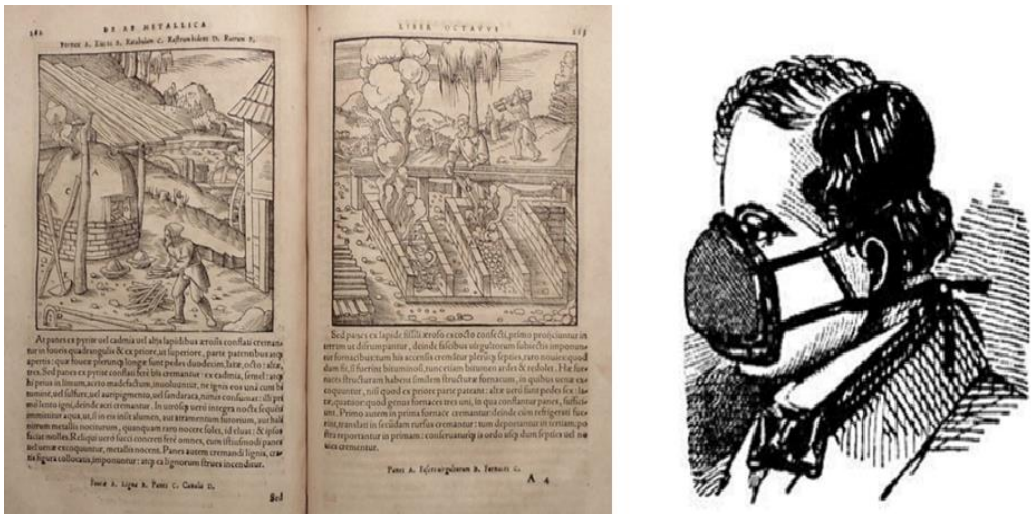
İş sağlığı sisteminde tanımlanan iyilik durumunun karşılanamamasının bireysel ve toplumsal düzeylerde sonuçları bulunmaktadır. Bireysel sonuçlarının başında meslek hastalıkları ve iş kazaları gelmektedir. Meslek hastalıkları öncelikli olarak iş aktivitelerinden kaynaklanan risklere maruz kalım sonucunda gelişen hastalıklar olarak tanımlanmaktadır. Tanımdan da anlaşılacağı üzere, meslek hastalıkları çalışma ortamındaki risklerle spesifik ya da güçlü bir ilişki gösterirler ve genellikle ortaya çıkan etmen de tektir. İş ile ilişkili hastalık veya çalışanları etkileyen hastalıklarda ise hastalığın ana sebebi olmamakla birlikte hastalığın seyrini değiştiren, şiddetlendiren ya da ortaya çıkışını artıran yardımcı nedenler, çalışma yaşamından kaynaklanmaktadır (Beyan & Demiral, 2016).

Ülkemizde olduğu gibi tüm dünyada iş kaynaklı kaza ve hastalıklar önemli bir mortalite ve morbidite kaynağı olmaya devam etmektedir. Her yıl milyonlarca çalışan bu hastalık ve yaralanmalar sonucunda geçici veya kalıcı olarak çalışamaz hale gelmektedir. Dünya genelinde mesleki risklerin yılda en az 1,9 milyon ölüm ve 90 milyon DALY'den (engelliliğe uyarlanmış yaşam yılından) sorumlu olduğu düşünülmektedir. UÇÖ her yıl dünya genelinde 2,3 milyon iş kaynaklı kaza ya da hastalık meydana geldiğini, bununla birlikte bu kaza ve hastalıklardan dolayı her

gün 6.000 çalışanın yaşamını kaybettiğini bildirmiştir (ILO, 2023). En son yayımlanan Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK) 2022 yılı istatistiklerine göre, ülkemizde 583.823 çalışan iş kazası geçirmiş, bunlardan 1.517'si yaşamını yitirmiştir. Toplam tespit edilen 953 meslek hastalığı içerisinde de 8 çalışan yaşamını yitirmiştir (SGK, 2023). Ülkemizde meslek hastalıkları bildiriminde pnömokonyozlar en sık bildirilen meslek hastalıklarını oluşturmaktadır.

1.2. Madencilik Sektörü ve Sağlık İlişkisi

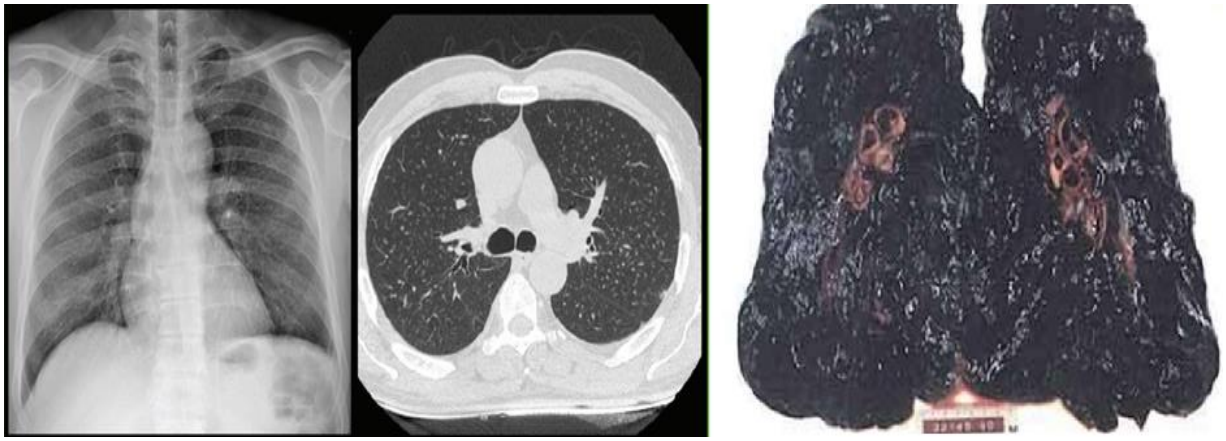
İlk madencilik faaliyetinin 20.000 ila 40.000 yıl önce yapıldığı tahmin edilmektedir. Agricola ve Paracelsus madenciler üzerine yazdıkları kitaplar ile bilinmektedir. Agricola (1494-1555) "De Re Metallica", Paracelsus (1493-1541) "On Miners' Sickness and Other Miners' Diseases" adlarını verdikleri kitaplarında madencilerdeki akciğer hastalıklarını ve yaşadıkları sosyal sorunları anlatmışlardır. Çalışma yaşamı sağlık ilişkisi anlaşılmaya başlandığında sağlığın korunması ile ilgili farkındalık da oluşmuş ve çalışanların korunması ile ilgili faaliyetler başlatılmıştır. İlk solunum koruyucunun bir hayvana ait mesane derisinden yapıldığı ve ilk kez maden ocaklarında kullanıldığı Plutarch'ın kitabında resmedilmiştir (Langard, 2015) (Şekil 1).



Şekil 1. Madencilikte toz riski tasviri ve tarihte kabul edilen ilk solunum koruyucu

1.3. Madencilik Sektöründe Toz Riski ve Sağlık İzleminin Önemi

Madencilik sektörü; kazma, delme ve patlatma işleri gibi tozun yoğun olduğu işlerin sıklıkla yürütüldüğü bir sektördür. Son yıllarda mekanize sistemlere geçilse de sektörün insan eli ile yürütülmesi gereken işleri halen yoğun bir şekilde devam etmektedir. Daha önce yukarıda bahsedildiği üzere cevherin çıkarıldığı jeolojik yapıların özelliklerine göre esasen madencilerde iki ana pnömokonyoz türü ile karşılaşılmaktadır. Bunlar; kömür işçisi pnömokonyozu ve silikozis'dir (Şekil 2). Kömür işçisi pnömokonyozu kömür madenciliğinde çalışanları etkilerken, silikozis ise kömür madenleri de dahil olmak üzere birçok maden ve taş ocakçılığı işçilerinde görülebilir. Bu hastalıklar için küratif tedavileri bulunmadığı durumlarda, hastalıklar olmadan toza maruziyetleri azaltarak önlemleri almak da önemli bir uygulamadır.



Şekil 2. Kronik basit silikozis radyolojisi ve kömür işçisi pnömokonyozuna ait otopsi fotoğrafı

Pnömokonyozlarla mücadelede tüm dünyada yaygın olarak ikincil koruma kapsamında pnömokonyoz tarama programları radyolojik görüntüleme yöntemleri yani periyodik olarak çekilen PA akciğer grafilerinin eğitimli okuyucular tarafından değerlendirilmesi yolu ile yürütülmektedir. UÇÖ tarafından standardize edilen Uluslararası Pnömokonyoz Tanı ve Sınıflaması rehberi en son 2011 yılında güncellenerek dijital grafilerin değerlendirilmesi başlamıştır (ILO, 2011). ABD'deki yeraltı kömür madencileri için bir işçi izlem

programı olan Kömür İşçileri Sağlık Gözetim Programı yürütülmektedir. Bu program 1969 yılında ABD'de çıkarılan Federal Kömür Madeni Sağlık ve Güvenlik Yasası tarafından zorunlu kılınmış ve kömür işçisi pnömokonyozunu hastalığın erken teşhisi yoluyla önlemeyi amaçlamaktadır. Amerikan Hastalık Kontrol ve Önleme Merkezleri (U.S. CDC) altındaki The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH)'in Solunum Sağlığı Bölümü, Kömür İşçilerinin Sağlık Sürveyans Programını 1969 tarihli Federal Kömür Madeni Sağlık ve Güvenlik Yasası'nın yürürlüğe girmesinden beri yönetmektedir. Sürveyans program sonuçları oldukça başarılı olmuş ve pnömokonyoz prevalansında anlamlı iyileşme sağlanmıştır. Sürveyans programı ile, kömür madenlerinde aktif çalışan işçiler her beş yılda bir göğüs röntgeni ile taranmaktadır. Çalışanların basit bir spirometrik testle izlenmesi ve solunumsal anketlerde yakınmaların takibi programın diğer parçalarıdır (Centers for Disease Control and Prevention , 2025). Dünyada benzer izlem programlarından başarılı sonuçlar alındığı bildirilmektedir.

2. SONUÇLAR

İSG faaliyetlerinin en etkilisi riski tamamen ortadan kaldırmaktır. Risk tamamen kaldırılamıyorsa kişisel koruyucu donanımlar (KKD) gibi önlemlerle risk azaltılmalı ve bazı yönetsel önlemlerle risk mümkün olan en az zararlı düzeye indirilmeye çalışılmalıdır. Risk azaltma faaliyetleri, iş hijyeni bilim alanında bireysel ve ortamda yapılan ölçümler ile sürekli değerlendirilmeli ve geliştirmelidir. Sağlık sonuçları ile ilgili kısımda da periyodik muayeneler ile varsa hastalık ya da bozukluğun erkenden yakalanması amaçlanmaktadır. Dolayısıyla hastane ortamındaki riskler açısından sağlık gözetimi (işe giriş ve periyodik muayeneler, biyoizlem çalışmaları vb.) ve çalışma ortamının gözetimi (risk değerlendirme, iş hijyeni ölçümleri, risk kontrol çalışmaları vb.) çalışmaları bir bütün olarak yürütülmeli ve sürveyans yapılması sağlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Beyan, A., & Demiral, Y. (2016). Meslek Hastalıkları ve Sürveyans. Mesleki Sağlık ve Güvenlik Dergisi.

Centers for Disease Control and Prevention . (2025). The National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Mining Topic: Respiratory Diseases. https://www.cdc.gov/niosh/cwhsp/about/index.html.

ILO, (2011). ILO International Classification of Radiographs of Pneumoconioses.

ILO, (2023). https://www.ilo.org/tr/resource/news/yakla%C5%9F%C4%B1k-3-milyon-ki%C5%9Fi-i%C5%9F-kazalar%C4%B1-ve-meslek-hastal%C4%B1klar%C4%B1-nedeniyle.

ILO ve WHO, (1957). World Health OrganisationTechnical Report Series, Report number: 135, Joint ILO/WHO Committee on Occupational Health Third Report. Geneva.

Langard, S. (2015). Gregorius Agricola memorial lecture: Lung cancer—A work-related disease for 500 years, as predicted by Agricola.

SGK, (2023). SGK İstatistik Yıllıkları. https://www.sgk.gov.tr/Istatistik/Yillik/fcd5e59b-6af9-4d90-a451-ee7500eb1cb4/.

TÜİK, (2024). İşgücü İstatistikleri. https://data.tuik.gov.tr/Bulten/Index?p=Isgucu-Istatistikleri-2024-54059.

MADENCİLİKTE İŞ MAKİNESİ OPERATÖRÜ EĞİTİMİNDE VR DESTEKLİ İSG UYGULAMALARI

VR SUPPORTED OHS APPLICATIONS IN MINING CONSTRUCTION EQUIPMENT OPERATOR TRAINING

Yasemin Yahşi
Dokuz Eylül Üniversitesi Bergama Meslek Yüksekokulu, İzmir

GENİŞLETİLMİŞ ÖZET:

İş makineleri, madencilik alanında üretim süreçlerinin en öneli parçasıdır. Bunun yanı sıra bu ekipmanlar çok yüksek risk barındırır. Ekskavatörler, yükleyiciler, delici makineler, tünel açma makineleri ve benzeri makineler, kullanıcı hataları ve mekanik arızalar nedeniyle iş sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından önemli riskler oluşturmaktadır. Bu sebeple bu iş makinelerini kullanan operatörlerin güvenli bir şekilde kullanma becerisi kazanmaları ve İSG bilincinin artması, iş kazalarının azaltılması ya da önlenmesi açısından kritik bir gerekliliktir.

Sahada eğitimin riskleri, zaman, iş makinesi ve kaynak kısıtları nedeniyle pratik yapma imkânı kısıtlıdır. Özellikle maden sektöründe kullanılan ağır iş makineleri için sahada eğitim süresi yeterince hızlı olamayabilmektedir. Bu durum alternatif eğitim teknolojilerine olan ilgiyi ve ihtiyacı artırmıştır. Sanal gerçeklik (VR) destekli simülasyonlar ve simülasyon oyunları, risk faktörünü ortadan kaldırarak gerçekçi deneyimler sunmakta, operatör adaylarının hem teknik becerilerini hem de güvenli araç kullanma pratiklerini geliştirmelerine olanak sağlamaktadır.

Bu çalışmada, iş makinesi operatörlüğü öğrencilerinin eğitimlerinde VR teknolojisi ile simülasyon ve simülasyon oyunlarının kullanım potansiyeli ve iş sağlığı ve güvenliği üzerindeki olası etkileri değerlendirilmiştir. Sanal gerçeklik gözlükleriyle gerçek iş makinesi koşullarının simüle edilerek, operatörlerin karşılaşabileceği tehlikeli durumları güvenli bir ortamda deneyimlemelerine

imkân verilmesi ve böylece hem risk algısının güçlenmesi hem de acil durumlara doğru tepkiler geliştirme yeteneklerinin artırılması amaçlanmaktadır. Ayrıca VR teknolojisinin eğitim motivasyonunu artırdığı ve sürecin karmaşıklığını azalttığı için öğrenme süresini kısalttığı yönünde bulgular mevcuttur (Radianti vd., 2020). Simülasyon, simülasyon oyunu ve sanal gerçeklik tabanlı eğitim uygulamaları, madencilikle benzer risk profiline sahip inşaat ve lojistik sektörlerinde başarılı uygulamalara sahiptir (Li vd., 2018). Bu uygulamalar madencilikte de bu yaklaşımın yaygınlaşabileceğini göstermektedir. Simülasyon, simülasyon oyunu ve sanal gerçeklik destekli eğitimlerin madencilik sektöründe İSG performansını iyileştirmesi için bazı öneriler sunulmuştur:

- İş makinesi üreticileri ile iş birliği yapılarak, iş makinesi operatörlerinin kullanacağı gerçek makine özelliklerine uygun VR senaryoları geliştirilmesi,
- VR eğitim içeriklerinin sektörel risk analizlerine göre değerlendirilip İSG mevzuatıyla uyumlu hale getirilmesi,
- Pilot uygulamalarla VR destekli eğitimlerin sürekli güncellenmesi ve etkinliğinin ölçülmesi,
- Sektörde hem mevcut çalışan operatörlere hem de yeni operatör adaylarına hizmet içi VR eğitimleri düzenlenmesi.

Sonuç olarak, simülasyon, simülasyon oyunu ve sanal gerçeklik tabanlı eğitim yöntemleri, madenlerde iş makinesi kullanılması ile ilişkili iş sağlığı ve güvenliği risklerinin azaltılmasında önemli bir eğitim fırsatı sunmaktadır. Bu teknolojinin kullanılması ve yaygınlaştırılması, sektörde daha güvenli çalışma ve bilinçli bir iş gücü oluşturulmasına katkı sağlayacaktır.

EXTENDED ABSTRACT:

Construction equipment is the most important part of the production processes in the mining sector. In addition, these equipments carry very high risks.

Excavators, loaders, drilling machines, tunnel boring machines and similar machines pose significant risks in terms of occupational health and safety (OHS) due to user errors and mechanical failures. For this reason, it is a critical necessity for the operators who use these construction equipment to gain the ability to use them safely and to increase their OHS awareness in order to reduce or prevent occupational accidents.

The opportunities for practice are limited due to the risks of training in the field, time, construction equipment and resource constraints. The training period in the field, especially for heavy construction equipment used in the mining sector, may not be fast enough. This situation has increased the interest and need for alternative education technologies. Virtual reality (VR) supported simulations and simulation games provide realistic experiences by eliminating the risk factor and allow operator candidates to develop both their technical skills and safe vehicle driving practices.

In this study, the potential of using simulations and simulation games with VR technology in the training of construction equipment operator students and their possible effects on occupational health and safety were evaluated. By simulating real work machine conditions with virtual reality glasses, it is aimed to allow operators to experience dangerous situations they may encounter in a safe environment, thus strengthening both their risk perception and increasing their ability to develop correct responses to emergencies. In addition, there are findings that VR technology increases training motivation and shortens the learning period by reducing the complexity of the process (Radianti et al., 2020).

Simulation, simulation game and virtual reality-based training applications have successful applications in the construction and logistics sectors, which have similar risk profiles to mining (Li et al., 2018). These applications show that this approach can also be widespread in mining. Some suggestions have been made

for simulation, simulation game and virtual reality supported trainings to improve OHS performance in the mining sector:

• Developing VR scenarios suitable for the real machine features to be used by construction equipment operators by cooperating with construction equipment manufacturers,

• Evaluating VR training contents according to sectoral risk analyses and making them compatible with OHS legislation,

• Continuously updating VR supported trainings with pilot applications and measuring their effectiveness,

• Organizing in-service VR trainings for both current operators and new operator candidates in the sector.

In conclusion, simulation, simulation game and virtual reality based training methods offer an important training opportunity in reducing occupational health and safety risks associated with the use of construction equipment in mines. The use and dissemination of this technology will contribute to safer work in the sector and the creation of a conscious workforce.

KAYNAKLAR

Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda, Computers & Education, Volume 147, https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778.

Li, X., Yi, W., Chi, H. L., Wang, X., Chan, A.P.C. (2018). A critical review of virtual and augmented reality (VR/AR) applications in construction safety, Automation in Construction, p. 150-162, https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.11.003.

MADEN OCAKLARINDAKİ YÜZEY DEFORMASYONLARININ UYDU RADAR VERİLERİNDEN MineSAR YAZILIMI İLE İZLENMESİ

MONITORING SURFACE DEFORMATIONS IN MINES FROM SATELLITE RADAR DATA WITH MineSAR SOFTWARE

Yavuz Gül
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sivas

Fatih Poyraz, Kemal Özgür Hastaoğlu
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Harita Mühendisliği Bölümü, Sivas

ÖZ: Maden ocaklarında meydana gelen yüzey deformasyonlarının sürekli izlenmesi olası iş kazalarına karşı alınabilecek en önemli tedbirlerden birini oluşturmaktadır. Günümüzde farklı birçok yöntemle yüzey deformasyonları izlenebilmektedir. Bu yöntemlerden gerek doğruluk gerek maliyet gerekse iş yükü bakımından en avantajlı olanı Uydu Radar verilerinden InSAR yöntemi kullanılarak deformasyonların izlenmesidir. Fakat mevcut yazılımların birçoğu sonuç ürün olarak sadece deformasyon hız haritaları sunmaktadır. Bu sonuçlardan detaylı analizler gerçekleştirilememektedir. Cumhuriyet Teknokent Bünyesinde bulunan Geomine ArGe Yazılım firması tarafından, InSAR sonuçlarından deformasyon hızlarının sınıflandırılması ve bu sınıfların yoğunluklarının periyodik değişim analizinin gerçekleştirilerek deformasyonların zamansal değişim ve davranış karakteristiğini kullanıcılara sunan bir yazılım geliştirilmiştir. "MineSAR" isimli yazılım kapsamında geliştirilen yeni metodoloji ve analizler ile deformasyonların artan/azalan eğilimi, hız büyüklüğü ve sınıfı, alansal yoğunluğu, skaladaki yüzdesi gibi büyüklükler belirlenebilerek deformasyonların uzun dönem davranış karakteristiği ortaya konulmakta ve bu sonuçlar raporlanmaktadır. Bu çalışma kapsamında MineSAR yazılımı için kullanılan yeni metodoloji ve yöntemler açıklanarak örnek uygulamalar sunulmaktadır.

Anahtar Kelimeler: InSAR, Deformasyon İzleme, MineSAR

ABSTRACT: *Continuous monitoring of surface deformations in mines is one of the most important measures to prevent possible occupational accidents. Today, surface deformations can be monitored using various methods. The most advantageous method in terms of accuracy, cost, and workload is the monitoring of deformations using the InSAR method with Satellite Radar data. However, many of the existing software programs only provide deformation velocity maps as a result, making it impossible to perform detailed analyses. A software program has been developed by Geomine R&D Software, a part of Cumhuriyet Teknokent, to classify the deformation rates from the InSAR results and conduct*

periodic variation analysis of these classes' densities. This analysis presents the temporal variation and behavioral characteristics of the deformations to the users. With the new methodology and analyses implemented in the "MineSAR" software, the long-term behavioral characteristics of the deformations are revealed. This includes determining the increasing or decreasing tendency of deformations, the magnitude and class of velocity, the areal density, and the percentage on the scale. The results of these analyses are reported. Within the scope of this study, the new methodology and methods employed in the MineSAR software are explained, and sample applications are presented.

Keywords: *InSAR, Monitoring Deformation, MineSAR.*

1. GİRİŞ

Maden hammaddelerinin hem ekonomik ölçekte üretilmesi hem de üretim faktörlerinin en yüksek düzeyde korunması, aynı zamanda iş sağlığı ve iş güvenliği kıstaslarının ve/veya emniyet kriterlerinin her durumda karşılanması oldukça önemlidir. Maden açık işletmelerinde beklenmedik bir kütlesel yer değiştirme hareketi, yaşamı tehlikeye atma, ekipmanı ve mülkü yok etme riski taşımaktadır. Maden sahalarında oluşan deformasyonların izlenememesi/izlenmemesi nedeni ile can kayıplarıyla sonuçlanan büyük hacimli heyelanlar oluşmaktadır. Maden sahalarındaki deformasyonların önceden tespiti ve gerekli önlemlerin alınması yaşamsal önem taşımaktadır (Poyraz, 2023).

Girard (2001), şev yenilmesi ve zemin deformasyonlarının yüzey madenciliği ölümlerinin yaklaşık %15'ine katkıda bulunduğunu belirtmiştir. Öte yandan McHugh ve ark. (2006), 1995 ve 2003 yılları arasında ABD yüzey madenciliği kazalarındaki ölümlerinin yaklaşık %12'sinin şev duyarsızlıklarından kaynaklandığını ifade etmişlerdir. Kararsız yamaçlar, üzerinde veya altında çalışan madenciler için tehlikelidir Amerika Birleşik Devletleri'ndeki yüzey madenlerindeki şev hatası kazalarında 1995 ve 2003 yılları arasında 42 madenci ölmüştür. (McHugh ve ark. 2006). Madenlerde ölümlü şev yenilmesi kazalarına örnek olarak; 1993 yılında Nambija (Ecuador) altın madenciliği bölgesinde (yaklaşık 300 kişi) (Elgstrand, 2017), 2013 yılında Afşin/Elbistan (Turkey) kömür ocağında (11 kişi) (Tamzok, 2011; Yaşar, 2015),

2015 yılında Myanmar jade madeninde (120 kişi) (Scholz, 2017), 2016 yılında Siirt/ Şirvan (Turkey) Maden köyü bakır açık maden işletmelerinde (16 kişi) (Çiçekdağı vd. 2017), 2024 yılında İliç/Erzincan (Turkey) Çöpler altın madeninde (9 kişi) ("Turkey gold mine: Nine workers missing after landslide," n.d.) meydana gelen heyelan ve toprak kaymaları verilebilir. Bu kazalarda toplam 447 kişi hayatını kaybetmiştir. Çalışanların ve ekipmanların olası bir heyelana karşı korunması için özellikle şevlerdeki deformasyonların sürekli izlenmesi gerekmektedir.

Büyük maden sahalarının tamamına ait deformasyonların izlenebilmesi için alansal izleme sistemlerine ihtiyaç duyulmaktadır. Yeni teknolojiler olan LİDAR ve İHA Fotogrametresi yöntemleri ile alansal deformasyonların izlenmesine karşın yüksek maliyet ve yoğun iş gücü bu yöntemlerin tercih edilmesini sınırlandırmaktadır. Yer Tabanlı/Bazlı Sentetik/Yapay Açıklıklı Radar (The Ground-Based Synthetic Aperture Radar, GB-SAR) tekniğide sistemin doğrusal gözlemleme özelliğinden dolayı sınırlı yüzeylerde faaliyet gösterebilmektedir. Alansal bazda deformasyon izleyebilmenin en iyi yöntemi uzaktan algılama yöntemidir. Bu yöntem gerek alansal deformasyonların izlenmesi gerek iş gücü gerekse iş güvenliği açısından büyük avantajlara sahiptir. Uzaktan algılama yöntemlerinden cm mertebesinde deformasyon ancak Interferometrik Sentetik Açıklıklı Radar (InSAR (Interferometric synthetic aperture radar)) yöntemi ile gerçekleştirilebilmektedir (Hastaoğlu 2016, Poyraz vd. 2020, Hastaoğlu vd. 2012, Hastaoğlu vd. 2015). InSAR verileri kullanılarak maden açık işletmelerinde oluşan deformasyonları ve yeraltı madenciliği nedeniyle yüzeyde oluşan tasmanları başarıyla gözlemleyen çalışmalar (Colesanti vd. 2005; Akçın vd. 2007; Kutoğlu vd. 2009; Perski vd. 2009; Herrera vd. 2010; Kemaldere 2011; Şanlı vd. 2012; Abdikan vd. 2013; Mora vd. 2013; Tunçdemir vd. 2013; Fan vd. 2014; Pinto vd. 2014; Pinto vd. 2015; Graniczny vd. 2015; Hartwig 2016; Paradella vd. 2015; Gama vd. 2017; Temporim vd.

2017; Carlà vd. 2018; Wang vd. 2018; Çavur vd. 2019; Sertabipoğlu vd. 2019; Poyraz vd. 2020; Kim vd. 2021; Zhou vd. 2021) giderek yaygınlaşmaktadır.

InSAR yöntemi maden sahalarındaki deformasyonların izlenmesinde etkili bir yöntem olmakla birlikte kullanılan mevcut yazılımlar ile üretilen sonuçlar kullanıcıları tatmin etmemektedir. Bu yazılımlar mevcut deformasyonunun mekânsal dağılımını ve büyüklüğünü belirleyebilirken, bu deformasyonların uzun dönemdeki davranışlarının ortaya konulmasına ve yorumlanmasına imkân sağlayamamaktadır. Özellikle deformasyon hızlarının sınıflandırılması ve bu sınıfların yoğunluklarının periyodik değişim analizinin gerçekleştirilerek deformasyonların zamansal değişim ve davranış karakteristiğinin kullanıcılara sunulması oldukça önemlidir. Geomine Ar-Ge Yazılım Mühendislik Ltd. Şti. tarafından üretilen MineSAR yazılımı kapsamında geliştirilen yeni metodoloji ve analizler ile deformasyonların artan/azalan eğilimi, hız büyüklüğü ve sınıfı, alansal yoğunluğu, skaladaki yüzdesi gibi büyüklükler belirlenebilerek deformasyonların uzun dönem davranış karakteristiği ortaya konulabilmektedir. Bu çalışma kapsamında MineSAR yazılımı için kullanılan yeni metodoloji ve yöntemler açıklanarak örnek uygulamalar sunulmaktadır.

2. MATERYAL METODOLOJİ

Mevcut yöntem ve yazılımlar kullanılarak SAR verilerinden deformasyon hızlarının sınıflandırılması ve bu sınıfların yoğunluklarının periyodik değişim analizinin gerçekleştirilerek deformasyonların zamansal değişim ve davranışının (artan/azalan eğilim) kullanıcılara sunulması mümkün olmamaktadır. Özellikle maden şirketleri maden sahalarındaki deformasyonların periyodik olarak izlenmesini ve deformasyon davranışının belirlenmesini arzu etmektedir. Bu ihtiyaç doğrultusunda geliştirilen MineSAR yazılımı kullanılarak yeni metodoloji ve analizler ile deformasyonların artan/azalan eğilimi, hız büyüklüğü

ve sınıfı, alansal yoğunluğu, skaladaki yüzdesi gibi büyüklükler belirlenebilerek deformasyonların uzun dönem davranışı ortaya konulabilmektir (Gül vd., 2025).

Geliştirilen metodolojideki işlem adımları (Gül vd., 2025) aşağıda verilmiştir.

•Öncelikle belirlenen periyodlara ait dönemsel SAR verileri açık kaynak kodlu GMTSAR ve STAMPS yazılımları kullanılarak değerlendirilmektedir,

•SAR verilerinin değerlendirilmesinden, sabit saçıcı (DS (Distributed Scatterer)) noktalarına ait yer değiştirme ve hız değerleri elde edilmektedir. Bu değerler aynı zamanda MineSAR yazılımı girdi verisi olarak kullanılmaktadır.

•Daha sonra çalışma sahası içerisinde, detaylı analiz gerçekleştirilecek deformasyon alanları belirlenerek her periyot için bu alanlara düşen alçalan/yükselen uydu DS noktalarına ait DS nokta kümeleri oluşturulmaktadır.

•Alçalan ve yükselen uydu DS noktaları kullanılarak her periyot ve deformasyon alanı için uydu bakış doğrultusu (LOS (Line of sight)) yönündeki hız değerlerinin yatay ve düşey hız değerlerine dönüşüm işlemi gerçekleştirilmektedir.

•Elde edilen yatay ve düşey DS hız ve standart sapma değerleri kullanılarak t-testi yardımıyla anlamlı hız değerleri belirlenerek, anlamsız hız değerlerine ise sıfır değeri atanmaktadır.

•Elde edilen anlamlı hız değerleri, istenilen/belirlenen sınıf sayısı kadar sınıflara ayrılarak her bir sınıfa düşen DS sayısı ve ortalama hız değeri tespit edilmektedir.

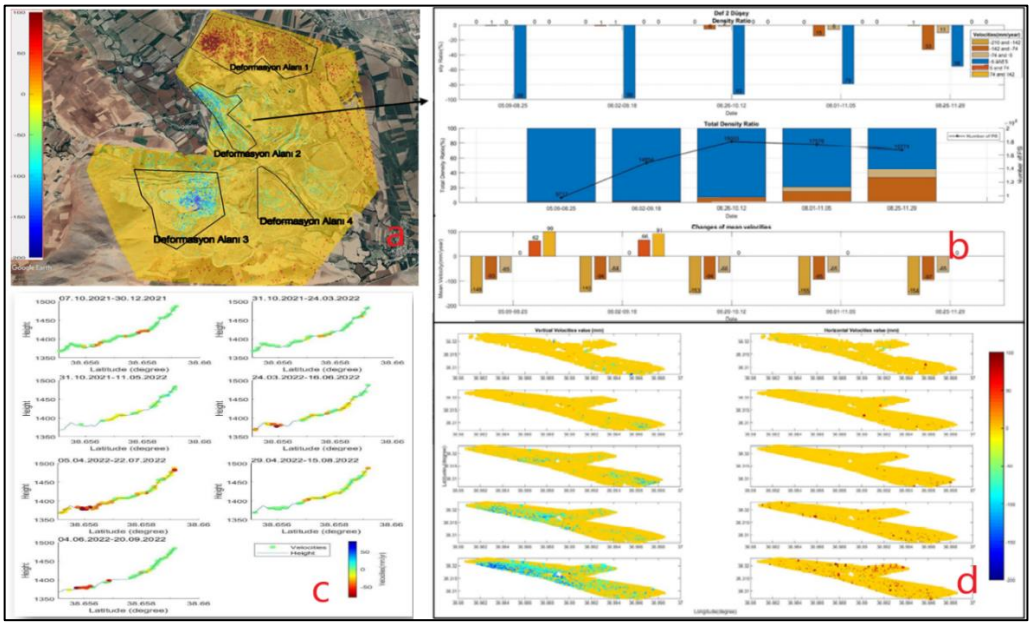
•Sınıf içerisine düşen DS sayısının, deformasyon alanındaki tüm DS sayısına oranı hesaplanarak her bir sınıf için alansal yoğunluk oranları (%) hesaplanmaktadır.

•Tüm periyod ve sınıflar için her bir defromasyon bölgesine ait alansal yoğunluk değerleri ve ortalama hız değerleri elde edilmektedir.

•Şayet deformasyon alanı içerisinde kesit hattı boyunca deformasyonların uzun dönem davranışı incelenmek isteniyorsa kesit hattına ait Sayısal Yüzey Modelinin (SYM) girdi verisi olarak eklenmesi gerekmektedir. Her periyot için kesit hattı üzerine düşen DS noktaları SYM üzerinde belirlenerek bu DS noktaları ve hız değerleri grafik ekran üzerinde gösterilmektedir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bir maden ocağına ait beş periyotluk değerlendirme analizleri örnek olarak aşağıda sunulmaktadır (Şekil 1). Tüm analizler MineSAR yazılımı kullanılarak bir önceki bölümde sunulan metodolojiye göre gerçekleştirilmiştir.



Şekil 1. Örnek amaçlı hazırlanan MineSAR yazılımı histogram ve kesit görselleri

Şekil 1-a'da DS nokta hız değerleri ve belirlenen deformasyon alanları gösterilmektedir. Şekil 1-b' de ise beş periyot sonucunda elde edilen beş sınıf için hız değişim oranları, toplam hız değişim oranları ve ortalama hız değişimleri sunulmaktadır. Şekil 1-b' de mavi ile gösterilen sınıf stabil kabul edilen 5mm/yıl' dan daha küçük hız değerine sahip DS oranını göstermektedir.

Görüldüğü üzere Deformasyon alanı 2'de ikinci periyottan sonra stabil alan oranı sistematik olarak azalmaktadır. Çökme değeri koyu kahverengi (74 – 142 mm/yıl) ve açık kahverengi oranı (142 – 212 mm/yıl) sistematik olarak artmaktadır. Şekil 1-b' deki toplam yoğunluk değişim oranlarından sahada çökme hareketinin periyodik olarak artış eğiliminde olduğu net bir şekilde görülmektedir. Stabil alanlar %99' dan %56 seviyesine inerken çökme oranı ise %1' den %44'e yükselmiştir. Hız değerleri büyüklük olarak yaklaşık aynı seviyelerde seyretmekle birlikte alansal olarak sistematik bir şekilde artmıştır.

Çalışma kapsamında geliştirilen yazılım sayesinde bu analizler belirlenen tüm deformasyon bölgelerinde, istenilen periyot sayısında, yatay ve düşey bileşenler için otomatik olarak gerçekleştirilmektedir. Şekil 1-c' de ise deformasyon sahası içerisinde bir kesit hattı için SYM üzerindeki deformasyonların değişim grafikleri sunulmaktadır. Şekil 1-c incelendiğinde özellikle 5. periyotta alt kotlarda çökme hareketinin yoğunlaştığı ve hızlandığı görülmektedir. Şekil 1-d ise Deformasyon alanı 2 için beş periyot düşey ve yatay hız değişim grafikleri sunulmaktadır. Buradan da görüleceği üzere deformasyon alanı 2'de özellikle çökme şeklindeki düşey deformasyonlar belirgin bir şekilde artış göstermektedir.

MineSAR yazılımı Şekil 1'deki histogram değerlerini otomatik olarak analiz ederek sonuçlar üretmektedir. Bu amaçla periyotlar arasındaki alansal değişim oranları ve ortalama hız değişim değerlerini belirleyerek bu değişimler kategorize edilmektedir. Kategorize edilen değişim değerleri görsel karşılıkları ile bir tabloda sunulmaktadır. Şekil 2'de örnek amaçlı olarak oluşturulan tablo sunulmaktadır. Ayrıca Şekil 3'de ise incelenen deformasyon alanlarının, öngörülen bir deformasyon hız eşik değerine göre hesaplanmış olan takip/önlem öncelik skorları görülmektedir.

Öncelikle Şekil 2 ve 3'de yer alan ok şeklindeki piktogramların ve takip/önlem öncelik skor skalasının ne anlama geldiğinin açıklanmasında (Gül

vd., 2025) fayda görülmektedir. Deformasyonlardaki hem alansal oranların hem de hız değerlerinin periyotlar arasındaki artış ve azalışları veya aynı seviyelerde olması durumu, 7 farklı ok işareti (↔: yaklaşık aynı seviyelerde seyreden, ∧/∨: nispeten artan/azalan, ↑/↓: artan/azalan, ⇑/⇓: belirgin bir şekilde artan/azalan) ile gösterilmiştir. Okların şekli deformasyonların alansal oranlarındaki ve hızlarındaki artış/azalış miktarları/aralıkları ile ilişkilidir. Karşılaştırılan iki periyot için alansal oranın 20%'den, hız değeri artışının ise 15 mm/year'dan fazla artış göstermesi durumunda 'Belirgin bir şekilde artan' tanımı yapılmakta ve ⇑ şeklindeki piktogram ile ifade edilmektedir. Değişim aralıkları sahada yaklaşık 4-5 aylık periyotta sürekli artış olması durumunda herhangi bir duraysızlığa neden olmayacak ancak riskin büyüdüğüne işaret edecek şekilde tarafımızdan öngörülmüş değerlerdir. Bir diğer ifadeyle alan için öngörülen en yüksek hız eşik değerine göre belirlenmiştir. 'Hız eşik değeri', takip/önlem öncelik skorunu da hesaplamaya esas bir değer olup bu değerin düşürülmesi güvenlik hassasiyetini artıracaktır. Hız eşik değerinin aşılması durumunda sahada her an bir yenilme beklenebilir. Bu yaklaşımlarla, değerlendirilen deformasyon alanları hem birbirleriyle hemde farklı periyotlardaki deformasyon davranışları yönünden aynı temelde kıyaslanabilir olmaktadır. Okların rengi ise 'takip/önlem öncelik skor skalası' na göredir. Bu skala tarafımızdan geliştirilmiş bir skala olup en yüksek hız eşik değerine göre 'çok düşük öncelikli' den başlayıp 'çok yüksek öncelikli' ye kadar sıralanan 5 seviyeyi ifade etmektedir. 0'dan başlamak üzere 7'ye kadar toplamda beş sınıf olmak üzere, skor değerinin 5.6'nın üzerinde olması takip/önlem önceliğinin ilgili alan için "Çok yüksek", 1.4'ün altı ise "Çok düşük öncelikli" olduğunu göstermektedir. Skorlar, koyu maviden koyu kırmızıya kadar değişen renk barı üzerinde verilmiştir. Seviyenin en üst değerinin "7" olmasının nedeni de 7 faklı ok işareti ile artış tanımlamalarının yapılıyor olmasıdır. Bu kapsamda artan/azalan eğilimleri ifade eden ok şeklindeki piktogramların rengide takip/önlem öncelik skor skalasına

göre belirlenmiştir. Koyu kırmızı renk deformasyonların alansal olarak (%) fazla / hız değeri (mm/yıl) yönünden yüksek (hız eşik değerine yakın) olduğuna işaret ederken mavi renk düşük oranları/değerleri göstermektedir. Skor hesap ayrıntıları Şekil 3 üzerinde verilmiştir.

Düşey deformasyon özet tablosu (artan/azalan eğilim)

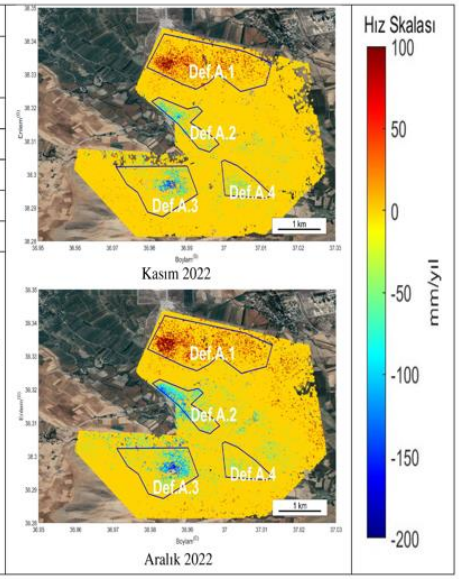
Yer	Ekim 2022/Kasım 2022					Kasım 2022/Aralık 2022				
	Çökme		Kabarma		Stabil	Çökme		Kabarma		Stabil
	Alansal	Hız	Alansal	Hız		Alansal	Hız	Alansal	Hız	
Tüm saha	↔	↔	↔	↔	∨	∧	↔	↔	∧	∨
Def.A.1	↔	↓	↑	↔	↓	↔	↓	∧	↔	∨
Def.A.2	↑	↔	↔	↔	↓	⇑	↔	↔	↔	⇓
Def.A.3	∧	↔	↔	↑	∨	↑	↔	↔	↔	↓
Def.A.4	↔	↓	↔	∨	↔	↔	∨	↔	↔	↔

Takip/önlem öncelik skor skalası

0 Çok Düşük Öncelikli 1.4 Düşük Öncelikli 2.8 Öncelikli 4.2 Yüksek Öncelikli 5.6 Çok Yüksek Öncelikli 7

	Değişim	
	Alansal (%)	Hız (mm/yıl)
↔ : Yaklaşık aynı seviyelerde seyreden	≤ 2	≤ 5
∨ : Nispeten azalan	>2 - ≤ 9	>5 - ≤ 10
↓ : Azalan	>9 - <20	>10 - <15
⇓ : Belirgin bir şekilde azalan	≥ 20	≥ 15
∧ : Nispeten artan		
↑ : Artan		
⇑ : Belirgin bir şekilde artan		
× : Deformasyon yok		

Not-1: Okların rengi takip/önlem öncelik skor skalasına göre belirlenmiştir. Koyu Kırmızı renk deformasyonların alansal olarak (%) fazla / hız değeri (mm/yıl) yönünden yüksek (hız eşik değerine yakın) olduğuna işaret ederken mavi renk düşük oranları/değerleri göstermektedir.
Not-2: -5,0 mm/yıl ile +5,0 mm/yıl aralığında hız değeri veren deformasyonlar "Stabil" olarak kabul edilmiştir. Bu değerin artması (yukarı yönlü oklar) sahadaki/bölgedeki deformasyonların azaldığına, azalması (aşağı yönlü oklar) ise arttığına işaret etmektedir.



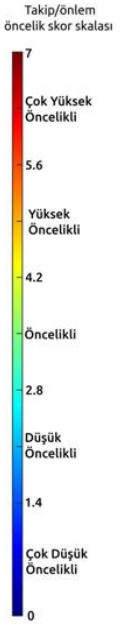
Şekil 2. Düşey hareket özet tablosu

Deformasyon alanları takip/önlem öncelik skorları (Yatay)

Yatay										
Deformasyon Alanı	*Hız Eşik Değeri (mm/yıl)	Ekim 2022/Kasım 2022					Kasım 2022/Aralık 2022				
		Batı		Doğu		Stabil[3]	Batı		Doğu		Stabil
		Alansal[1]	Hız[2]	Alansal	Hız		Alansal	Hız	Alansal	Hız	
Tüm saha	120	0.04	4.30	0.11	4.55	0.15	0.05	4.32	0.21	4.47	0.26
Def.A.1	120	0.03	3.92	0.28	4.34	0.31	0.02	3.82	0.54	4.20	0.57
Def.A.2	120	0.01	5.00	0.08	4.72	0.08	0.01	4.91	0.25	4.47	0.25
Def.A.3	120	0.03	4.47	0.23	4.72	0.26	0.04	4.55	0.29	4.71	0.33
Def.A.4	120	0.08	4.52	0.09	4.52	0.17	0.06	4.16	0.14	4.30	0.19

Deformasyon alanları takip/önlem öncelik skorları (Düşey)

Düşey										
Deformasyon Alanı	*Hız Eşik Değeri (mm/yıl)	Ekim 2022/Kasım 2022					Kasım 2022/Aralık 2022				
		Çökme		Kabarma		Stabil[3]	Çökme		Kabarma		Stabil
		Alansal[1]	Hız[2]	Alansal	Hız		Alansal	Hız	Alansal	Hız	
Tüm saha	120	0.19	5.07	0.14	4.55	0.33	0.36	4.98	0.23	4.61	0.59
Def.A.1	120	0.00	4.24	0.90	4.67	0.90	0.00	3.57	1.40	4.66	1.40
Def.A.2	120	0.99	5.09	0.00	0.00	0.99	2.29	5.17	0.00	0.00	2.29
Def.A.3	120	0.80	5.59	0.01	4.06	0.82	1.31	5.57	0.01	4.58	1.32
Def.A.4	120	0.80	4.82	0.00	4.12	0.80	0.82	4.29	0.00	3.83	0.82



Şekil 3. Deformasyon alanları takip/önlem öncelik skorları

Şekil 2'de Ekim/Kasım 2022 başlığı altında sunulan değişim karakteristikleri Ekim-Kasım periyotları arasındaki değişimi, Kasım/Aralık 2022 başlığı altında sunulan değişim karakteristikleri ise Kasım-Aralık periyotları arasındaki değişimleri göstermektedir. Buna göre hem Kasım 2022 hem de Aralık 2022'de Deformasyon alanı 4 dışında stabil alanlarda bir azalma söz konusudur. Çalışma sahasında Aralık 2022'de en belirgin deformasyon artışını Deformasyon alanı 2 ve 3'deki çökme hareketinin alansal olarak artışı göstermektedir. Bunun yanı sıra Şekil3'de özellikle Deformasyon alanı 2 ve 3 için çökme hız değeri için takip/önlem öncelik skoru 5'in üzerinde olduğu gözlenmektedir gerek Kasım gerekse Aralık döneminde bu değer aynı seviyelerdedir. Bu durum çökme hız değerleri açısından Deformasyon alanı 2 ve 3'ün takip/önlem seviyesinin yüksek öncelikli olduğuna işaret etmektedir.

MineSAR yazılımı ile kullanıcılara yatay ve düşey deformasyonların davranış karakteristiğini ortaya koyan özet tablolar oluşturulabilmektedir. Ayrıca her bir deformasyon alanı için tablolardaki sembolleri otomatik olarak yorumlayarak sonuç raporu hazırlanabilmektedir. Böylece kullanıcılara deformasyonların zamansal değişim ve davranış karakteristiği sunulmaktadır. Bu sonuçlar doğrultusunda kullanıcıların gerekli önlemleri alması sağlanmaktadır.

4. SONUÇLAR

Çalışma sonucunda özellikle açık ocak maden işletmelerindeki yüzey deformasyonlarının ve yeraltı maden işletmeleri nedeniyle yeryüzünde oluşan tasmanların (çökme) uydu radar verilerinden periyodik olarak izlenmesi ve deformasyonun zamana bağlı davranış karakteristiklerinin analizini gerçekleştiren bir yazılımın geliştirilmiştir. Yazılımda kullanılan yaklaşımlar ve metodolojiler gerek ulusal gerekse uluslararası ilk olma özelliğini taşımaktadır. Geliştirilen yeni metodolojiler kullanılarak açık ocak maden işletmelerindeki

yüzey deformasyonları ve yeraltı maden işletmeleri nedeniyle yüzeyde oluşan tasmanların zamansal karakteristiği ortaya konulmaktadır.

Son yıllarda ülkemizin açık maden işletmelerinde artan üretim miktarlarına bağlı olarak, üretim planlamasına yönelik doğru işletme projeleri oluşturulsa dahi büyük kütleli muhtemel alansal deformasyonların izlenememesi/izlenmemesi nedeni ile can kayıplarıyla sonuçlanan heyelanlar oluşmaktadır. Açık maden işletmelerinde oluşan bu heyelanlar nedeniyle günlerce bazen aylarca süren arama kurtarma çalışmaları nedeniyle üretime ara verilmektedir. Bu husus hem maddi hem de manevi açıdan önemli ulusal kayıplara sebep olmaktadır. Bu kazalara örnek olarak, 2001 yılında Kangal Kömür İşletmesi döküm sahasında, 2013 yılında Afşin/Elbistan Çöllolar Sahasında ve 2016 yılında Siirt/ Şirvan Maden Köyü açık bakır maden işletmelerinde meydana gelen heyelan ve toprak kaymaları gösterilebilir.

Açık maden işletmelerinde oluşabilecek bu kazaların önüne geçebilmenin yolu, ekonomik ve güvenlik koşulları dikkate alınarak optimize edilmiş işletme projelerine uygun bir şekilde üretimin gerçekleştirilmesi ve daha da önemlisi üretimin bu plana uygun olarak ilerleyip ilerlemediğinin kontrol edilmesinden geçmektedir. Bu kapsamda üretim alanlarının yanı sıra kabarmış malzemenin yer aldığı döküm sahalarının hareketliliğinin izlenmesi de son derece önemlidir. Bu nedenle üretim aşamalarında çalışma sahası içindeki ve dışındaki muhtemel alansal deformasyonların izlenmesi gerekmektedir. Tüm bu çalışmaların en temel ihtiyacı, yüksek konum bilgisine sahip altlık deformasyon haritaların sık aralıklı üretilmesidir. Geliştirilen MineSAR yazılımı çıktıları ile konum bilgisi yüksek, güncel ve periyodik olarak hazırlanan bu deformasyon haritaları sayesinde ileriye yönelik üretim planlaması daha doğru bir şekilde yapılabilir. Yine periyodik olarak hazırlanan bu deformasyon haritaları sayesinde üretimin işletme projesine uygunluğu denetlenebilir özellik arz edecektir. Bunun yanı sıra üretim sahası dışındaki muhtemel deformasyonlarda kolaylıkla izlenebilecektir.

Deformasyonların izlenmesi ile sahalarda tehdit oluşturabilecek bölgeler hızla belirlenebilecek ve hareketin büyüklüğüne göre gerekli önleyici tedbirler alınarak olası kaymalar engellenebilecektir. Hatta açık ocak ya da yeraltı maden işletmeciliğinin olduğu bazı bölgelerde maden işletmesi civarındaki yerleşim yerlerinin zarar görmemesi için gerekli görülmesi durumunda kamulaştırılarak yeni yerleşim alanlarına söz konusu köyün/mahallenin taşınması durumu ile de karşılaşılabilmektedir. Böyle bir durumda da bu yazılım ile bölgedeki deformasyonların uzun dönem davranışları ortaya konularak söz konusu köyün/yapının/alanın etkilenip etkilenmediği belirlenebilecek ve stabil alanlar tespit edilerek bu doğrultuda yeni yerleşim yerlerinin planlaması yapılabilecektir. Çalışma sonuçlarının iş güvenliğine ve üretimin devamlılığına son derece önemli katkılar sağlaması şüphesizdir. Bu çalışma ile uydu tabanlı yaklaşımlarla deformasyonlarının zamansal karakteristiği ortaya konularak işletmelerin iş güvenliğinin sağlanması amaçlanmaktadır.

TEŞEKKÜR

Geomine Ar-Ge Yazılım Mühendislik Ltd. Şti. tarafından geliştirilen MineSAR yazılımı, Küçük ve Orta Ölçekli İşletmeleri Geliştirme ve Destekleme İdaresi Başkanlığı (KOSGEB) tarafından Ar-Ge, İnovasyon Destek Programı kapsamında 2020-587-27 sayılı ve 2 nolu karar ile Ar-Ge, Ür-Ge ve İnovasyon Destek Programı kapsamında 2023-587-4 sayılı ve 1 nolu karar uyarınca desteklenmiştir. Yazarlar, MineSAR yazılım desteği için Geomine Ar-Ge firmasına teşekkür eder.

KAYNAKLAR

Abdikan S, Arıkan M, Şanlı FB, Çakır Z, Kemaldere H (2013) Zonguldak maden alanlarında meydana gelen yer yüzeyi hareketlerinin InSAR zaman serileri ile belirlenmesi. Harita Dergisi 149:1-6 (in Turkish).

Akçın H, Deguchi T, Kutoğlu ŞH, Kemaldere H, Oruç M, Karakış S, Görmüş KS (2007) İnterforemetrik SAR ve GPS Kombinasyonu İle Madencilikten Kaynaklanan Yüzey Deformasyonlarının Belirlenmesi. TMMO Harita Ve Kadastro Mühendisleri Odası 11. Türkiye Harita Bilimsel ve Teknik Kurultayı 34-34 (in Turkish).

Carlà T, Farina P, Intrieri E, Ketizmen H, Casagli N (2018) Integration of ground-based radar and satellite InSAR data for the analysis of an unexpected slope failure in an open-pit mine. Engineering Geology (235): 39-52. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2018.01.021

Çiçekdağı Hİ, Tosun Y, Ökenek F, Üzümcü SA (2017) From chaos to order: example of Turkey national disaster response plan-Siirt mine accident. Kast Univ J Faculty Econ Adm Sci 18(1):161–176

Colesanti, C., Mouelic, S.L, Bennani, M., Raucoules, D., Carnec, C. Vd. (2005). Detection of mining related ground instabilities using the Permanent Scatterers technique—a case study in the east of France. International Journal of Remote Sensing 26 (1): 201- 207. Doi: 10.1080/0143116042000274069

Elgstrand K, Sherson DL, Jørs E, Nogueira C, Thomsen JF, Fingerhut M et al (2017) Safety and health in mining: Part 1. Occup Health South Afr 23(3):10–20

Fan HD, Wei G, Yong Q, Xue JQ, Chen BQ (2014) A model for extracting large deformation mining subsidence using D-InSAR technique and probability integral method. Transactions of Nonferrous Metals Society of China 24(4):1242-1247. https://doi.org/10.1016/S1003-6326(14)63185-X

Gama FF, Cantone A, Mura JC, Pasquali P, Paradella WR, dos Santos AR, Silva GG (2017) Monitoring subsidence of open pit iron mines at Carajás Province based on SBAS interferometric technique using TerraSAR-X data. Remote Sensing Applications: Society and Environment 8:199-211. https://doi.org/10.1016/j.rsase.2017.09.001

Girard JM (2001) Assessing and monitoring open-pit mine highwalls. In: Proceedings of the 32nd annual institute on mining health, safety and research, Salt Lake City, Utah, pp 159–171

Graniczny, M., Colombo, D., Kowalski, Z., Przyłucka, M., Zdanowski, A. (2015). New results on ground deformation in the Upper Silesian Coal Basin (southern Poland) obtained during the DORIS Project (EU-FP 7). Pure and Applied Geophysics 172: 3029-3042. Doi: 10.1007/s00024-014-0908-6

Gül, Y., Hastaoğlu, K.Ö., Poyraz, F. (2025). A new methodology for determining the long-term behavior of earth surface deformations from InSAR results. Advances in Space Research, 75(4):3521–3540. https://doi.org/10.1016/J.ASR.2024.12.035

Hartwig ME (2016) Detection of mine slope motions in Brazil as revealed by satellite radar interferograms. Bulletin of Engineering Geology and the Environment 75(2):605-621. https://doi.org/10.1007/s10064-015-0832-8

Hastaoğlu, K. Ö. (2016). Comparing the results of psinsar and GNSS on slow motion landslides, Koyulhisar, Turkey. Geomatics, natural hazards and risk, 7(2), 786-803.

Hastaoglu, K., Poyraz, F., Demirel, M. (2012). Monitoring of Landslides on East Part of North Antolia Fault Zone (NAFZ) Using PS-ınsar Method with High Resolution terrasar-X. Alman Uzay Ajansı Projesi. Project No: DLR GEO1232.

Hastaoglu, K., Poyraz, F., Türk, T., Yılmaz, I., Şanlı, U., Balık Şanlı, F. (2015). GPS ve PS-ınsar Yöntemleri Kullanılarak Heyelanların İzlenmesi ve Afet Bilgi Sistemi Tabanlı Risk Analizlerinin Gerçekleştirilmesi: Koyulhisar (Sivas) Heyelanları, TÜBİTAK 111Y111 Nolu Proje Raporu

Herrera G, Tomás R, Vicente F, Lopez-Sanchez JM, Mallorquí JJ, Mulas J (2010). Mapping ground movements in open pit mining areas using differential SAR interferometry. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 47(7):1114-1125. https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2010.07.006

Kemaldere H (2011) Şehir Altı Madenciliği ve Tasman Etkilerinin Diferansiyel InSAR Tekniği ile Belirlenmesi: Zonguldak Metropolitan Alanı Örneği. Ph.D. thesis, Zonguldak Kara Elmas Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Zonguldak, Türkiye (in Turkish).

Kim J, Lin SY, Singh RP, Lan CW, Yun, HW (2021) Underground burning of Jharia coal mine (India) and associated surface deformation using InSAR data. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation (103):102524. https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102524

Kutoğlu HŞ, Akçın H, Kemaldere H, Deguchi T, Kato M (2009) İllegal Madencilik Faaliyetlerinin DInSAR İle Belirlenmesi . Jeodezi ve Jeoinformasyon Dergisi 101:0-0 (in Turkish).

McHugh EL, Dwyer J, Long DG, Sabine C (2006) Applications of ground-based radar to mine slope monitoring. NIOSH-report of investigations 9666, DHHS (NIOSH) Publication no. 2006–116, pp 39

Mora ,O., Álvarez, I., Amor Herrera, E. (2013). Slope stability study in open pit and underground mines by means of forensic analysis and radar interferometry. In: International Symposium on Slope Stability in Open Pit Mining and Civil Engineering, Australian Centre for Geomechanics, Perth, pp. 1021-1032. Doi: 10.36487/ACG_rep/1308_71_Mora

Paradella, W.R., Ferretti, A., Mura, J.C., Colombo, D., Gama, F.F. vd. (2015). Mapping surface deformation in open pit iron mines of Carajás Province (Amazon Region) using an integrated SAR analysis. Engineering Geology 193: 61-78. Doi: 10.1016/j.enggeo.2015.04.015

Perski Z, Hanssen R, Wojcik A, Wojciechowski T (2009). InSAR analyses of terrain deformation near the Wieliczka Salt Mine, Poland. Engineering Geology 106(1-2):58-67. https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2009.02.014

Pinto CdA, Paradella WR, Mura JC, Gama FF, dos Santos AR, Silva GG (2014) Results of the application of persistent scatterers interferometry for surface displacements monitoring in the Azul open pit manganese mine (Carajás Province, Amazon region) using TerraSAR-X data. In Earth Resources and Environmental Remote Sensing/GIS Applications 9245: 92451K. https://doi.org/10.1117/12.2067233

Pinto CdA, Paradella WR, Mura JC, Gama FF, Dos Santos AR, Silva GG, Hartwig ME (2015) Applying persistent scatterer interferometry for surface displacement mapping in the Azul open pit manganese mine (Amazon region) with TerraSAR-X stripmap data. Journal of Applied Remote Sensing 9(1):095978. https://doi.org/10.1117/1.JRS.9.095978

Poyraz B (2023). Maden İşletmelerinde Yüzey Deformasyonlarının Yapay Açıklıklı Uydu Radar Görüntüleriyle İzlenebilirliğinin Araştırılması. Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü (Doktora Tezi),177s, Sivas.

Poyraz, F., Gül, Y., & Duymaz, B. (2020). Determination of deformations by using the PSI technique at a common dump site of three different open-pit marble mines in Turkey. Turkish Journal of Earth Sciences, 29(6).

Sertabipoğlu Z, Özer Ü, Tunçdemir H (2019) InSAR Hız Haritaları Kullanılarak Açık Ocaklarda Şev Yenilmesi Olabilecek Bölgelerin Tespiti. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi (IMCET 2019). 408-419 (in Turkish).

Scholz T (2017) Artisanal and small-scale mining. In: O'Callaghan T, Graetz G (eds) Mining in the Asia-Pacific, Springer, Cham. pp 271–283. https ://doi.org/10.1007/978-3-319-61395 -6_16

Şanlı FB, Abdikan S, Arıkan M, Çakır Z, Kemaldere H (2012). Zonguldak maden alanlarında meydana gelen yer yüzeyi hareketlerinin InSAR zaman serileri ile belirlenmesi. IV. Uzaktan Algılama ve Coğrafi Bilgi Sistemleri Sempozyumu (UZAL-CBS 2012), 16-19 Ekim 2012, Zonguldak (in Turkish).

Tamzok N (2011) "Kaza" nın ardindan: afşin-elbistan linyit havzasi'nin kisa ve hazin tarihi…. Cumhur Enerj Derg 22:10–11

Temporim, F.A., Gama, F.F., Mura, J.C., Paradella, W.R., Silva, G.G. (2017). Application of persistent scatterers interferometry for surface displacements monitoring in N5E open pit iron mine using terrasar-X data, in Carajás Province, Amazon region. Brazilian Journal of Geology 47 (2): 225-235. Doi: 10.1590/2317-4889201720170006

Tunçdemir H, Güçlü E, Akçay Ö, Akyılmaz O, Yılmaztürk S, Motagh M (2013) A methodology for deformation control with InSAR: Orhaneli open pit mine case study. 23rd international mining congress and exhibition of Turkey. 211–217

Turkey gold mine: Nine workers missing after landslide [WWW Document], n.d. URL https://www.bbc.com/news/world-europe-68287504 (accessed 10.5.24).

Wang L, Li N, Zhang XN, Wei T, Chen YF, Zha JF (2018) Full parameters inversion model for mining subsidence prediction using simulated annealing based on single line of sight

D-InSAR. Environmental Earth Sciences 77(5):161. https://doi.org/10.1007/s12665-018-7355-0

Yaşar S, İnal S, Yaşar Ö, Kaya S (2015) Geçmişten günümüze büyük maden kazaları. Bilimsel Madencilik Derg 54(2):33–43

Zhou W, Zhang W, Yang X, Wu W (2021) An Improved GNSS and InSAR Fusion Method for Monitoring the 3D Deformation of a Mining Area. IEEE. 9:155839-155850. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2021.3129521.

MADENCİLİKTE İŞ GÜVENLİĞİ VE SENDİKALAŞMA

OCCUPATIONAL SAFETY AND UNIONIZATION IN MINING

Ömer Günay
Maden Mühendisi, Hukukcu

ÖZ: Bir madende ki iş makinelerinin ve kamyonlarının çıkardığı sesler, yeraltı madenciliğinde yeraltı çalışmasının uğultusu ya da ofisteki klavyenin tıklamaları... Günlük yaşamın ritmi, milyonlarca madencinin emek gücüyle atar. Ancak bu emek gücü, zaman zaman işçi sağlığı ve güvenliği tehditleriyle karşı karşıya kalır. İşte bu noktada, işçi haklarını korumak ve çalışma koşullarını iyileştirmek adına sendikaların önemi devreye girer. İşçi sağlığı ve sendikalaşma arasındaki bu derin ilişki, sadece geçmişin değil, günümüzün de mücadelesinin merkezinde yer almaktadır. Bu yazıda, işçilerin sağlık ve güvenlik hakları ile sendikaların bu hakların savunulmasındaki rolünü karşılaştırmalı bir şekilde ele alacağız.

Anahtar Kelimeler: Madencilik, İşçi sağlığı ve Güvenliği,Sendikalaşma

ABSTRACT: *The sounds of machinery and trucks in a mine, the hum of underground work in mining, or the clicks of a keyboard in the office. The rhythm of daily life beats with the labor power of millions of miners. However, this labor power occasionally faces threats to worker health and safety. At this point, the importance of unions in protecting workers' rights and improving working conditions comes into play. This deep relationship between worker health and unionization lies at the heart of not only past struggles but also those of today. This article will comprehensively address the health and safety rights of workers and the role of unions in defending these rights.*

***Keywords**: Mining, Worker Health and Safety, Unionization*

1. GİRİŞ

İş güvenliği, çalışanların ve işverenlerin çeşitli haklarının ve sorumluluklarının kesiştiği karmaşık bir alandır. Bu nedenle, iş güvenliği uygulamalarında zaman zaman hak çatışmaları yaşanabilir. İş güvenliğinde sıkça karşılaşılan çarpışan haklardan bazıları şu şekildedir:

Çalışanların Sağlık ve Güvenlik Hakkı ile İşverenin İşletme Yönetimi ve Karar Alma Özgürlüğü Hakkı: Çalışanların sağlık ve güvenlik hakkı ile İşverenin

İşletme Yönetimi ve Karar Alma Özgürlüğü Hakkı arasındaki denge, iş hukuku ve iş sağlığı güvenliği alanında sürekli tartışılan ve çözülmesi gereken önemli bir konudur. Bu iki hak, bazı durumlarda çatışabilir ve bu çatışmanın nasıl çözüleceği, hem çalışanların sağlığı ve güvenliği hem de işletmenin sürdürülebilirliği açısından kritik öneme sahiptir.

Çalışanların Sağlık ve Güvenlik Hakkı:

- Bu hak, çalışanların güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamında çalışma hakkını ifade eder.
- Türkiye'de bu hak, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu ile güvence altına alınmıştır.
- Bu kanun, işverenlere çalışanların sağlığını ve güvenliğini korumak için gerekli önlemleri alma yükümlülüğü getirir.
- Çalışanlar, tehlikeli durumlarda çalışmaktan kaçınma, bilgi edinme ve katılım haklarına sahiptir.
- Çalışanların iş sağlığı ve güvenliği hakları, anayasal haklar olarak da değerlendirilir.

İşverenin İşletme Yönetimi ve Karar Alma Özgürlüğü Hakkı

- Bu hak, işverenin işletmesini serbestçe yönetme, kâr elde etme ve üretim hedeflerine ulaşma hakkını ifade eder.
- İşverenler, işletmelerini verimli ve rekabetçi bir şekilde yönetmek için kararlar alma yetkisine sahiptir.
- Ancak, bu hak sınırsız değildir ve çalışanların sağlık ve güvenlik haklarıyla dengelenmelidir.

Çarpışan Haklar ve Çözüm Yolları:

- Bu tür çatışmaların çözümü için şu yollar izlenebilir:
    - Yasal düzenlemelere uyum: İşverenler, 6331 sayılı kanun ve ilgili yönetmeliklere uygun olarak gerekli önlemleri almalıdır.

- Risk değerlendirmesi: İş yerindeki tehlikeler ve riskler düzenli olarak değerlendirilmeli ve önleyici tedbirler alınmalıdır.
- Çalışan katılımı: Çalışanlar, iş sağlığı ve güvenliği konularında karar alma süreçlerine katılmalıdır.
- Eğitim ve bilinçlendirme: Çalışanlar ve işverenler, iş sağlığı ve güvenliği konularında düzenli olarak eğitilmelidir.
- Denetim: devlet tarafından düzenli olarak yapılan iş yeri denetimleri, iş yerlerinde gerekli önlemlerin alınıp alınmadığını kontrol etmeye yarar.

Çalışanların Bilgi Edinme Hakkı ve İşverenin Ticari Sırları:

- Çalışanlar, iş yerindeki tehlikeler ve riskler hakkında bilgi edinme hakkına sahiptir.
- İşverenler ise bazı bilgileri ticari sır olarak saklama hakkına sahiptir.
- Bu durum, özellikle metal madenciliğinde ve ağırlıklı olarak altın madenciliğinde kimyasal maddeler veya yeni teknolojilerle çalışılan iş yerlerinde sorun yaratabilir. Çalışanlar, sağlıklarını etkileyebilecek bilgilere erişemeyebilirken, işverenler ise rekabet avantajlarını kaybetmekten endişe edebilir.

Çalışanların Çalışmaktan Kaçınma Hakkı ve İşverenin Üretim Sürekliliği Hakkı:

- Çalışanlar, ciddi ve yakın bir tehlike durumunda çalışmaktan kaçınma hakkına sahiptir.
- İşverenler ise üretim süreçlerinin kesintisiz devam etmesini sağlama hakkına sahiptir.
- Bu iki hak, özellikle acil durumlarda veya tehlikeli işlerde çalışanlar için çatışabilir. Çalışanlar, can güvenlikleri için çalışmayı reddedebilirken, işverenler ise üretim kayıpları nedeniyle zor durumda kalabilir.

Çalışanların Özel Hayatın Gizliliği Hakkı ve. İşverenin İş Yeri Güvenliği Hakkı:

- Çalışanlar, özel hayatlarının gizliliğine saygı gösterilmesini isteme hakkına sahiptir.
- İşverenler ise iş yerinde güvenliği sağlama ve yasal düzenlemelere uyma sorumluluğundadır.
- Bu durum, özellikle kamera izleme, kişisel eşya araması veya sağlık taraması gibi uygulamalarda sorun yaratabilir. İşverenler, güvenlik gerekçesiyle çalışanların özel hayatına müdahale edebilirken, çalışanlar ise kişisel haklarının ihlal edildiğini düşünebilir.

Çalışanların Sendika Hakkı ve. İşverenin Yönetim Hakkı:

- Çalışanlar, sendika kurma ve sendikal faaliyetlere katılma hakkına sahiptir.
- İşverenler ise iş yerini yönetme ve işçi-işveren ilişkilerini düzenleme hakkına sahiptir.
- Bu iki hak, özellikle sendikal örgütlenme veya toplu pazarlık süreçlerinde çatışabilir. İşverenler, sendikal faaliyetleri kısıtlamaya çalışabilirken, çalışanlar ise sendikal haklarını kullanmak isteyebilir.

Belirlenmesi ve denetim mekanizmalarının etkin çalışması da çözüm sürecine katkı sağlayabilir.

2. KANADA ÖRNEĞİ

Kanada'daki iş güvenliği sistemi hem federal hem de eyalet düzeyinde düzenlemelerle yönetilir. Bu sistem, iş yerlerini daha güvenli hale getirmek için işverenlerin ve çalışanların kendi kendine yetebilmesini güçlendirmeyi amaçlar. Çalışanlar, tehlikeli işleri reddetme gibi önemli haklara sahiptir ve düzenli denetimler ile kazaların önlenmesi hedeflenir. İlginç bir detay, WHMIS'in ulusal düzeyde tehlikeli maddeler hakkında bilgi sağlama sistemidir, bu da Kanada'nın

iş güvenliği yaklaşımında benzersiz bir unsurdur. İşyeri Tehlikeli Maddeler Bilgi Sistemi (WHMIS), Kanada'nın tehlike iletişim standardıdır.

Çalışan ve İşveren Rolleri : Çalışanlar, iş yeri tehlikeleri hakkında bilgi alma ve güvenlik faaliyetlerine katılma hakkına sahiptir. İşverenler ise güvenli bir ortam sağlamak ve kazaları araştırmakla yükümlüdür. Bu, içsel sorumluluk sisteminin temelini oluşturur.

Düzenlemeler ve Denetimler : Sistem, federal düzeyde Kanada İş Kanunu'nun bir parçası olan düzenlemeler ve eyalet düzeyinde özel yasalarla desteklenir. Sağlık ve güvenlik komiteleri, aylık denetimler yaparak tehlikeleri tespit eder ve işverenlere öneriler sunar.

İçsel Sorumluluk Sistemi: Kanada'daki iş güvenliği sisteminin temel felsefesi, içsel sorumluluk sistemidir (IRS). Bu sistem, iş yerindeki herkesin -hem çalışanların hem de işverenlerin- kendi güvenliğinden ve iş arkadaşlarının güvenliğinden sorumlu olduğunu vurgular. CCOHS'e göre, bu sistem tüm Kanada yargı bölgelerinde iş sağlığı ve güvenliği mevzuatının temelini oluşturur (CCOHS: İçsel Sorumluluk Sistemi) (https://www.ccohs.ca/oshanswers/legisl/legisl/irs.html). İşverenler, çalışanların sağlık ve güvenliğini sağlamak için uygun adımları belirlemekle yükümlüdür, ancak bu adımlar genellikle spesifik olarak tanımlanmaz, bu da iş yerlerine özgü esneklik sağlar. Örneğin, Ontario'da İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası (OHSA), güçlü bir IRS'nin kurulmasını kolaylaştırmak için işveren, denetçi, çalışan ve iş yeri sahiplerinin görevlerini açıkça belirtir (Ontario: İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası Kılavuzu) (https://www.ontario.ca/document/guide-occupational-health-and-safety-act/internal-responsibility-system). Bu, iş yerindeki herkesin güvenlikte aktif bir rol oynamasını sağlar.

Çalışan Hakları ve Görevleri: Çalışanlar, Kanada'daki iş güvenliği sisteminde önemli haklara sahiptir. Federal düzeyde, Kanada İş Kanunu'nun II. Bölümü, çalışanlara şu hakları tanır:

- İş yerindeki bilinen veya öngörülebilen tehlikeler hakkında bilgi alma hakkı,
- Sağlık ve güvenlik faaliyetlerine katılma hakkı,
- Tehlikeli işi reddetme hakkı.

Karşılaştırmalı Analiz ve İlginç Detaylar: Kanada'nın iş güvenliği sistemi, içsel sorumluluk sistemine güçlü bir vurgu yapmasıyla dikkat çeker, bu da diğer ülkelerden farklı bir yaklaşım sunar. Ayrıca, WHMIS'in ulusal düzeyde uygulanması, sistemin tutarlılığını ve kapsayıcılığını artırır. Bu özellikler, Kanada'nın iş güvenliği yaklaşımında benzersizdir ve iş yerlerinde güvenlik kültürünün geliştirilmesine katkıda bulunur. Aşağıda verilen Çizelge 1, sistemin temel özelliklerini özetler ve her birinin iş yerlerinde nasıl uygulandığını gösterir.

Çizelge 1. Kanada'daki İş Güvenliği Sisteminin Temel Özellikleri

Özellik	Açıklama
İçsel Sorumluluk Sistemi	İşveren ve çalışanlar, güvenlikten ortak sorumludur; esneklik sağlar.
Çalışan Hakları	Tehlikeler hakkında bilgi alma, katılma ve tehlikeli işi reddetme hakkı.
İşveren Görevleri	Güvenli ortam sağlama, şikayetleri araştırma, düzenli denetimler yapma.
Sağlık ve Güvenlik Komiteleri	Aylık denetimler yapar, tehlikeleri tespit eder, işverene öneriler sunar.
WHMIS (İngilizce)	Tehlikeli maddeler hakkında bilgi sağlar, ulusal düzeyde uygulanır.
Düzenli Denetimler ve Kaza Araştırmaları	Proaktif ve reaktif güvenlik önlemleri için gereklidir.
Çift Düzenleyici Sistem	Federal ve eyalet düzeyinde düzenlemeler, yerel ihtiyaçlara uyum sağlar.

Kanada'daki iş güvenliği sistemi, içsel sorumluluk sistemi, çalışan hakları, işveren görevleri, sağlık ve güvenlik komiteleri, WHMIS, düzenli denetimler ve çift düzenleyici sistem gibi temel özelliklerle karakterize edilir. Bu özellikler, iş yerlerinde güvenlik kültürünü güçlendirir ve çalışanların sağlık ve güvenliğini

korur. WHMIS'in ulusal düzeyde uygulanması, sistemin tutarlılığını artıran ilginç bir detaydır.

Çarpışan Hakların Çözümü:

- Kanada'da çarpışan haklar, genellikle iş sağlığı ve güvenliği komiteleri, sendika müzakereleri ve yasal süreçler yoluyla çözülür.
- İçsel sorumluluk sistemi, işverenlerin ve çalışanların işbirliği yaparak ortak çözümler bulmasını teşvik eder.
- Anlaşmazlıkların çözümü için arabuluculuk ve tahkim gibi alternatif çözüm yolları da kullanılır.
- Yasal olarak güçlü işçi hakları, bu hakların mahkemeler yolu ile aranabilmesi ve iş verenlere kesilen yüksek cezalar sebebi ile işverenler tarafından işçi sağlığı ve iş güvenliğine büyük önem verilmektedir.

Önemli Noktalar:

- Kanada'da iş sağlığı ve güvenliği, proaktif bir yaklaşımla ele alınır. Önleyici tedbirler, kazaların ve yaralanmaların önlenmesinde önemli bir rol oynar.
- Eğitim ve farkındalık, iş güvenliği kültürünün oluşturulmasında ve sürdürülmesinde kritik öneme sahiptir.

3.ŞİLİ'DE İŞ GÜVENLİĞİ KONULARI

Şili’de iş güvenliği,Türkiye'den farklı bir yasal ve kültürel bağlamda ele alınır. Şili’nin iş güvenliği sistemi, yasal düzenlemeler ve sosyal diyalog yoluyla çatışmaları çözmeyi hedefler. Bu sistemin temel özellikleri ve çatışan hakların çözümüne dair bilgiler şu şekildedir:

Yasal Çerçeve: Şili'de iş sağlığı ve güvenliği, 16.744 sayılı İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları Yasası ile düzenlenir. Bu yasa, işverenlerin ve çalışanların hak ve yükümlülüklerini belirler, iş kazaları ve meslek hastalıklarını önlemeyi amaçlar.

Denetim ve Uygulama: İş sağlığı ve güvenliği denetimleri, Sağlık Bakanlığı'na bağlı Sağlık Denetimi (Seremi) tarafından yürütülür. Çalışma Genel Müdürlüğü de denetim ve uygulama yetkisine sahiptir.

Çalışan Hakları: Şili'deki çalışanlar, güvenli bir çalışma ortamında bulunma, tehlikeli durumlarda çalışmayı reddetme, bilgi edinme ve iş sağlığı konusuna katılma haklarına sahiptir. Sendikalar, bu hakların savunulmasında önemli bir rol oynar.

İşveren Sorumlulukları: İşverenler, çalışanların sağlığını korunmak, tehlikeleri belirlemek, riskleri değerlendirmek, eğitim vermek ve iş sağlığı programları oluşturmakla yükümlüdür. Ayrıca, iş kazalarını ve meslek hastalıklarını raporlamak ve soruşturmak sorumluluğundadırlar.

Çarpışan Hakların Çözümü: Sosyal Diyalog: İş güvenliği konuları, işverenler, çalışanlar ve hükümet arasında sosyal diyalog mekanizmalarıyla çözülmeye çalışılır. Sendikalar, müzakerelerde bulunarak çalışan haklarını savunur ve güvenlik standartlarının iyileştirilmesine katkı sağlar.

Yasal Süreçler: Çalışanlar haklarının ihlal edildiğini düşündüklerinde mahkemeye başvurabilirler. İş teftişleri ile yasaların uygulanıp uygulanmadığı kontrol edilir.

İş Güvenliği Komiteleri: Birçok iş yerinde iş güvenliği komiteleri kurulur. Bu komiteler, işverenler ve çalışanlar arasında işbirliği sağlayarak güvenlik sorunlarının çözümüne katkıda bulunur.

Önemli Noktalar: Şili'de iş güvenliği, yasal düzenlemeler ve sosyal diyalog ile sağlanır. Sendikalar, çalışanların haklarını korumada kritik bir rol oynar.

İş güvenliği eğitimi, işverenler tarafından sağlanmalı ve çalışanlar risklerin tanınması konusunda bilinçlendirilmelidir. Sağlık Denetimi ve Çalışma Genel Müdürlüğü, iş güvenliği uygulamalarını düzenli olarak denetleyerek, yasa ve yönetmeliklere uyulup uyulmadığını kontrol eder.

Çalışanların bireysel hakları da önemlidir; her çalışan, çalışma koşullarını iyileştirmeyi talep edebilir ve ihlal durumunda mahkemeye başvurabilir. Uygulama zorlukları, işverenlerin güvenlik standartlarına uyma isteksizliğinden kaynaklanabilir. Sürekli denetim ve değerlendirme süreci, iş güvenliği kültürünün yerleşmesi için gereklidir.

Sonuç olarak, Şili'deki iş güvenliği sistemi, yasal düzenlemeler ve sosyal diyalog ile desteklenirken, çalışan haklarının korunmasına özel önem verir. Çarpışan haklar, iş sağlığı alanındaki dengelerle çözülür. Her bireyin sağlıklı bir ortamda çalışma hakkı, bu sistemin merkezindedir. Gelecekte yapılacak güncellemeler hem çalışanlar hem de işverenler için fayda sağlayabilir.

4.ÇİN'DE İŞÇİ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ SİSTEMİNİN TEMEL ÖZELLİKLERİ

Yasal Çerçeve: Çin'de iş sağlığı ve güvenliği, İş Kazası Sigortası Yönetmeliği ve İş Güvenliği Yasası gibi çeşitli yasal düzenlemeler aracılığıyla belirlenmektedir. Bu yasal çerçeve, işverenlerin ve çalışanların hak ve sorumluluklarını net bir şekilde tanımlar ve iş kazalarının yanı sıra meslek hastalıklarının önlenmesini amaçlar.

Denetim ve Uygulama:İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili denetimler, Acil Durum Yönetimi Bakanlığı ve yerel çalışma büroları tarafından icra edilmektedir. Denetimlerin etkinliği, yerel yönetimlerin kaynakları ve denetim kuruluşlarının yetkilendirilme düzeyine bağlı olarak değişkenlik göstermektedir.

Çalışan Hakları: Çin'deki çalışanlar, güvenli bir çalışma ortamında çalışma, tehlikeli koşullarda iş yapmayı reddetme, bilgi edinme ve iş sağlığı ile güvenliği konularında katılım haklarına sahiptir. Ancak, sendika hakları ve ifade özgürlüğü üzerindeki kısıtlamalar, bu hakların tam olarak kullanılmasını güçleştirmektedir.

İşveren Sorumlulukları: İşverenler, çalışanların sağlığını ve güvenliğini korumak amacıyla gerekli önlemleri almak, riskleri belirlemek, risk

değerlendirmesi yapmak, uygun eğitim sağlamak ve iş sağlığı ve güvenliği programları oluşturmakla yükümlüdür. Ancak bazı işverenler, maliyetleri düşürme veya üretim hedeflerine ulaşma adına bu yükümlülükleri ihmal edebilirler.

Çarpışan Hakların Dengelenmesi: Hükümetin Rolü: Çin hükümeti, iş sağlığı ve güvenliği standartlarını geliştirmek ve denetimleri güçlendirmek için çaba sarf etmektedir. Ancak ekonomik büyüme ve istihdam yaratma hedefleri, zaman zaman iş güvenliği önlemlerinin etkin bir şekilde uygulanmasını zorlaştırmaktadır.

Sendikaların Rolü: Çin'de resmi sendika olarak faaliyet gösteren Tüm Çin İşçi Sendikası (ACFTU), çalışan haklarının korunmasına yönelik sorumluluk almaktadır. Ancak bağımsız sendikaların kurulması ve faaliyet göstermesi üzerindeki kısıtlamalar, sendikaların etkisini sınırlayabilmektedir.

Yasal Süreçler: Çalışanlar, haklarının ihlal edildiğini düşündüklerinde mahkemelere başvurma hakkına sahiptirler. Ancak yasal süreçlerin karmaşıklığı ve maliyetleri, bazı çalışanların bu seçeneği değerlendirmesini engelleyici bir unsur teşkil edebilir.

Çin'de iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı, çeşitli devlet kurumları tarafından denetlenmektedir. Bu kurumlar arasında en önemli olanları şunlardır:

- Çin Devlet İşçi Güvenliği İdaresi (State Administration of Work Safety - SAWS): İş sağlığı ve güvenliği ile ilgili politikaları belirleyen, uygulamaları denetleyen ve işyerleri için güvenlik standartlarını geliştiren kurumdur.
- Çin Sosyal Güvenlik İdaresi (Social Insurance Agency): İş kazası sigortası uygulamalarını denetleyen ve tazminat süreçlerini yöneten kurumdur.
- Yerel Çalışma Güvenliği İdaresi: Her eyalet ve şehirde yerel kuruluşlarca yürütülen denetimleri gerçekleştirir ve kendi bölgelerindeki iş yerlerinin yasalara uygunluğunu kontrol eder.

- Çin Sağlık Komisyonu (National Health Commission): Çalışanların sağlık koşullarını ve iş sağlığı hizmetlerini denetleyen kurumdur.

- Çin Çalışma Bakanlığı: İşçi hakları ve iş sağlığı konularında genel düzenlemeleri yapan ve ihlalleri izleyen kuruluştur.

Uluslararası Baskı:Uluslararası kuruluşlar ve sivil toplum örgütleri, Çin'deki işçi hakları ve iş güvenliği konularında farkındalık yaratmak amacıyla çeşitli çabalar içindedir. Uluslararası markalar ve tedarik zincirleri, Çin'deki tedarikçilerinden iş güvenliği standartlarına uymalarını talep ederek dolaylı bir etki yaratma imkanı sağlayabilmektedir.

Önemli Noktalar: Çin'de iş güvenliği, ekonomik büyüme, hükümet politikaları, sendika faaliyetleri ve uluslararası baskı gibi çeşitli faktörlerin etkisi altında şekillenmektedir. Çarpışan hakların dengelenmesi, hükümetin denetimlerini güçlendirmesi, sendikaların etkisini artırması ve uluslararası standartlara uyum sağlanması ile mümkün olabilmektedir.

İş güvenliği alanında sendikaların rolü, çalışanların haklarını korumak ve güvenli çalışma ortamları sağlamak açısından son derece önemli bir yere sahiptir. Sendikalar, toplu pazarlık yoluyla daha yüksek güvenlik standartlarının müzakere edilmesine öncülük ederek, işçilere güvenlik eğitimi sağlayarak ve işverenlerin güvenlik düzenlemelerine uymalarını sağlamak suretiyle bu sürece katkıda bulunmaktadır. Bu durum, özellikle çalışanların sağlık ve güvenlik hakkı ile işverenin işletme hakkı gibi çakışan hakların söz konusu olduğu durumlarda kritik bir önem taşımaktadır. Sendikaların bu bağlamda nasıl etki gösterdiği, iş güvenliği uygulamaları ve yasalarının gelişimi açısından da gözlemlenebilir bir durumdur.

5.BULGULAR VE TARTIŞMA

Dünya genelinde farklı ülkelerde sendikaların rolü, her ülkenin kendine özgü yasal ve kültürel bağlamları doğrultusunda değişiklik göstermektedir.

Örneğin Türkiye'de, sendikalar, düşük birleşme oranlarına rağmen güvenlik farkındalığını artırmak adına çeşitli çalışmalar yürütmektedirler. Bu çabalar, iş yerinde güvenliği artırmak için hayati bir gereklilik olarak öne çıkmaktadır.

Kanada'da ise sendikalar, iş güvenliği komitelerinin (JHSC) kurulmasında ve tehlikeli işleri reddetme hakkının yasallaşması süreçlerinde aktif bir şekilde yer alarak önemli bir rol oynamışlardır. Bu tür yasaların getirdiği güvenlik avantajları, çalışanların daha güvenli bir çalışma ortamına sahip olmalarını sağlamaktadır.

Şili'de, sendikalar, risk değerlendirme komitelerine katılarak işçilerin haklarını koruma noktasında oldukça aktif bir tutum sergilemekte ve güvenlik müzakerelerinde etkin bir şekilde yer almaktadır. Bu durum, sendikaların işçi hakları konusunda savunuculuk yapma yetilerini de güçlendirmektedir.

Çin'de ise resmi sendika olan Tüm Çin İşçi Sendikası (ACFTU), iş güvenliği konusunda bazı roller üstlenmekte olsa da, bağımsız sendikaların kısıtlanması nedeniyle etkisi sınırlı kalmaktadır. Bu durum, sendikanın çalışanların güvenliğini sağlama konusunda yeterince etkili olamaması anlamına gelmektedir.

İş kazalarında sendikaların rolü: İş güvenliği, çalışanlar ve işverenler arasındaki çeşitli hakların kesiştiği karmaşık bir alan olma özelliği taşımaktadır. Sendikalar, bu alanda öne çıkarak çalışanların sesi olarak, toplu pazarlık süreçleriyle daha yüksek güvenlik standartlarını müzakere etmekte, işçilere güvenlik işlemleri konusunda eğitim sunmakta ve işverenlerin güvenlik düzenlemelerine uyum sağlamalarında etkili olmaktadırlar. Araştırmalar, sendikaların varlığının iş kazalarını azalttığını ve daha güvenli çalışma ortamları oluşturduğunu göstermektedir. Örneğin, U.S. Department of Labor Blog makalesindeki bulgular, sendika temsilinin iş yerlerinde güvenlik kültürünü nasıl güçlendirdiğini açıkça ortaya koymaktadır. Bunun yanı sıra, EHS Insight'a göre sendikalaşmanın azalması durumunda iş kazalarında bir artış meydana gelebileceği vurgulanmaktadır; bir çalışma, sendikalaşma oranındaki %1'lik bir

düşüşün iş kazası ölümlerinde %5 oranında bir artışa yol açabileceğini ortaya koymuştur.

Aşağıda, farklı ülkelerde sendikaların iş güvenliği konusundaki rollerini ve karşılaştıkları zorluklar Çizelge 2'de sunulmaktadır.

Çizelge 2. Farklı ülkelerde sendikaların iş güvenliği konusundaki rollerini ve karşılaştıkları zorluklar

Ülke	Sendikanın Rolü Zorluklar/Kısıtlamalar
Türkiye	Güvenlik farkındalığını artırma, çalışan haklarını koruma
	Düşük sendikalaşma oranı, uygulama sorunları
Kanada	Ortak Sağlık ve Güvenlik Komiteleriler kurulumu, tehlikeli
	iş reddetme hakkı, reformların sağlanması
Şili	Risk değerlendirme komitelerine katılım, güvenlik
	müzakereleri
Çin	Tüm Çin Sendikalar Federasyonu aracılığıyla sınırlı rol, iş
	güvenliği farkındalığını artırma ,
	Bağımsız sendikaların kısıtlanması ve sınırlı etki

Sonuç olarak, sendikalar iş güvenliğinde çalışanların haklarını koruma, güvenli çalışma alanları sağlama ve güvenlik standartlarını artırma hususlarında temel bir rol oynamaktadır. Kanada, Şili bu bakımdan olumlu örnekler iken ve Çin ve Türkiye gibi ülkelerdeki sendikaların etkisinin az olması işçi sağlığı ve iş güvenliğine yansımaktadır. Çakışan hakların çözümü, sendikaların arabuluculuk ve müzakere yoluyla sağladığı denge ile mümkün hale gelebilmektedir. Bu, iş yerlerinde güvenlik kültürünün güçlendirilmesinde kritik bir adım olmanın yanı sıra, işçilerin güvenliği ve sağlığı açısından da hayati öneme sahiptir. Bu nedenle, iş güvenliğinin azalması durumunun, ancak sendikalaşma ile engellenebileceği sonucunu çıkarmak oldukça mantıklıdır.

KAYNAKLAR

CCOHS: İçsel Sorumluluk Sistemi](https://www.ccohs.ca/oshanswers/legisl/legisl/irs.html)
https://www.dev.ilo.org/sites/default/files/2024-09/A%20Guide%20to%20Selected%20LI%20System-Last%20Version_0.pdf?form=MG0AV3

Kanada Güvenlik Konseyi: Federal ve Eyalet Düzenlemeleri, (https://canadasafetycouncil.org/wpcontent/uploads/2017/11/federal_and_provincial_occupational_health_and_safety_regulations.pdf)

Kanada: Federal Düzeyde İş Sağlığı ve Güvenliği, (https://www.canada.ca/en/employment-social-development/services/health-safety/workplace-safety.html)
Kanada: İş Sağlığı ve Güvenliği, (https://www.canada.ca/en/health-canada/services/environmental-workplace-health/occupational-health-safety.html)

Ontario: İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası Kılavuzu, (https://www.ontario.ca/document/guide-occupational-health-and-safety-act)

Ontario: İş Sağlığı ve Güvenliği Yasası, (https://www.ontario.ca/page/occupational-health-and-safety-act-ohsa)

Şili 16.744 sayılı İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları Yasası.

BALIK KILÇIĞI ANALİZİ İLE YERALTI KÖMÜR MADENCİLİĞİNDE GÜVENLİ ÜRETİM

SAFE PRODUCTION IN UNDERGROUND COAL MINING WITH FISHBONE ANALYSIS

Ali Kemal Eyüboğlu
Dokuz Eylül Üniversitesi Bergama MYO, Alternatif Enerji Kaynakları Programı, İzmir

Muharrem Kemal Özfırat, Mustafa Emre Yetkin
Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZ: Yeraltı kömür madenciliği, yüksek risk içeren bir sektör olup iş kazaları ciddi can kayıplarına ve ekonomik kayıplara yol açmaktadır. Geleneksel risk analiz yöntemleri çoğunlukla mevcut tehlikeleri değerlendirmeye odaklanırken, kazaların kök nedenlerini belirleme konusunda yetersiz kalabilmektedir. Bu çalışmada, yeraltı madenciliğinde iş güvenliği risklerini analiz etmek için Balık Kılçığı Analizi kullanılmıştır. Bu yöntem, kazalara neden olan faktörleri insan, yönetimsel, teknik ve çevresel olmak üzere dört ana başlık altında sınıflandırarak sistematik bir değerlendirme sunmaktadır. Çalışma kapsamında, madencilik sektöründeki temel risk faktörleri belirlenmiş ve Balık Kılçığı Diyagramı ile görselleştirilmiştir. Ayrıca, geleneksel risk analiz yöntemleri ile Balık Kılçığı Analizi karşılaştırılarak avantajları ve sınırlılıkları tartışılmıştır. Sonuçlar, Balık Kılçığı Analizi'nin iş güvenliği yönetiminde etkili bir araç olduğunu ve proaktif önlemlerin geliştirilmesine katkı sağladığını göstermektedir. Gelecekte yapılacak çalışmalar, saha verileri ile desteklenen kapsamlı analizler ve farklı risk değerlendirme yöntemleriyle entegrasyon üzerinde yoğunlaşmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı madenciliği, iş güvenliği, risk analizi, Balık Kılçığı Analizi, kök neden analizi.

ABSTRACT: *Underground coal mining is a high-risk industry where occupational accidents cause significant casualties and economic losses. Traditional risk assessment methods primarily focus on evaluating existing hazards but often fall short in identifying the root causes of accidents. In this study, the Fishbone Diagram (Ishikawa Analysis) is utilized to analyze occupational safety risks in underground mining. This method systematically categorizes accident-causing factors into four main groups: human, managerial, technical, and environmental. The study identifies key risk factors in the mining sector and visualizes them using the Fishbone Diagram. Furthermore, a comparative analysis is conducted between traditional risk assessment methods*

and the Fishbone Diagram, highlighting their advantages and limitations. The findings suggest that the Fishbone Diagram is an effective tool for occupational safety management, contributing to the development of proactive safety measures. Future research should focus on comprehensive analyses supported by field data and the integration of multiple risk assessment approaches.

Keywords: *Underground mining, occupational safety, risk analysis, Fishbone Diagram, root cause analysis.*

1. GİRİŞ

Yeraltı kömür madenciliği, küresel ölçekte enerji üretimi açısından kritik bir sektör olmasının yanı sıra, yüksek riskli çalışma ortamları nedeniyle iş güvenliği açısından en çok incelenen alanlardan biridir (Özfırat vd., 2016). Bu sektör, dünya genelinde milyonlarca insanın doğrudan veya dolaylı olarak istihdam edilmesini sağlarken, aynı zamanda ciddi iş kazaları ve meslek hastalıkları ile karşı karşıya kalmaktadır (Dündar vd., 2018). Kömür madenlerinde meydana gelen kazalar, hem işçilerin yaşamını tehdit etmekte hem de işletmeler için büyük ekonomik kayıplara neden olmaktadır. Özellikle, grizu patlamaları, göçükler, metan gazı birikimi ve havalandırma eksiklikleri gibi tehlikeler, madencilik sektöründe en yaygın güvenlik riskleri olarak öne çıkmaktadır (Kaya, 2022).

Madencilik kazalarının etkileri yalnızca işçilerin hayatını kaybetmesi veya yaralanması ile sınırlı değildir. Sosyal açıdan bakıldığında, iş kazaları madencilerin aileleri ve yerel topluluklar üzerinde derin psikolojik ve ekonomik etkiler yaratmaktadır (Uğur ve Topkaya, 2015). Ekonomik olarak ise, madencilik sektöründe meydana gelen kazalar, üretimin durmasına, iş gücü kayıplarına ve tazminat maliyetlerinin artmasına neden olmaktadır. Bunun yanı sıra, büyük çaplı madencilik kazaları çevresel yıkımlara ve ekosistem dengesinin bozulmasına yol açabilmektedir. Örneğin, gaz sızıntıları ve kömür yangınları, yer altı ekosistemlerini ve çevreyi uzun vadeli olarak etkileyen ciddi tehditlerdir (Bayraktar vd., 2018).

Bu nedenlerle, madencilik sektöründe risk yönetimi büyük bir önem taşımaktadır. Geleneksel risk yönetimi yöntemleri, genellikle kazaların meydana gelmesinin ardından alınan reaktif önlemlerden oluşmaktadır. Ancak günümüzde iş güvenliği anlayışı, reaktif yaklaşımlar yerine proaktif ve önleyici stratejilere yönelmektedir (Eyüboğlu, 2018). Madencilik sektöründe karşılaşılan risklerin etkin bir şekilde yönetilebilmesi için, risk faktörlerinin kök nedenlerini tespit eden sistematik analizlerin kullanılması gerekmektedir. Kök neden analizi, bir kazanın temel sebeplerini belirleyerek, bu tür olayların tekrarını önlemek için uygun önlemler geliştirilmesine yardımcı olmaktadır (Eyüboğlu ve Özfırat, 2017).

Bu noktada, balık kılçığı analizi (Ishikawa diyagramı), kömür madenciliğinde karşılaşılan güvenlik risklerini sistematik bir şekilde analiz etmeye olanak tanıyan etkili bir araç olarak değerlendirilmektedir. Balık kılçığı analizi, güvenlik açıklarını ana kategoriler altında organize ederek, risklerin neden-sonuç ilişkisini ortaya koymakta ve önleyici stratejiler geliştirilmesini sağlamaktadır. Özellikle, insan faktörleri, ekipman eksiklikleri, çevresel tehditler ve yönetimsel zafiyetler gibi çok boyutlu riskleri tek bir çerçevede ele alarak kapsamlı bir değerlendirme yapma imkanı sunmaktadır (Nie, 2016).

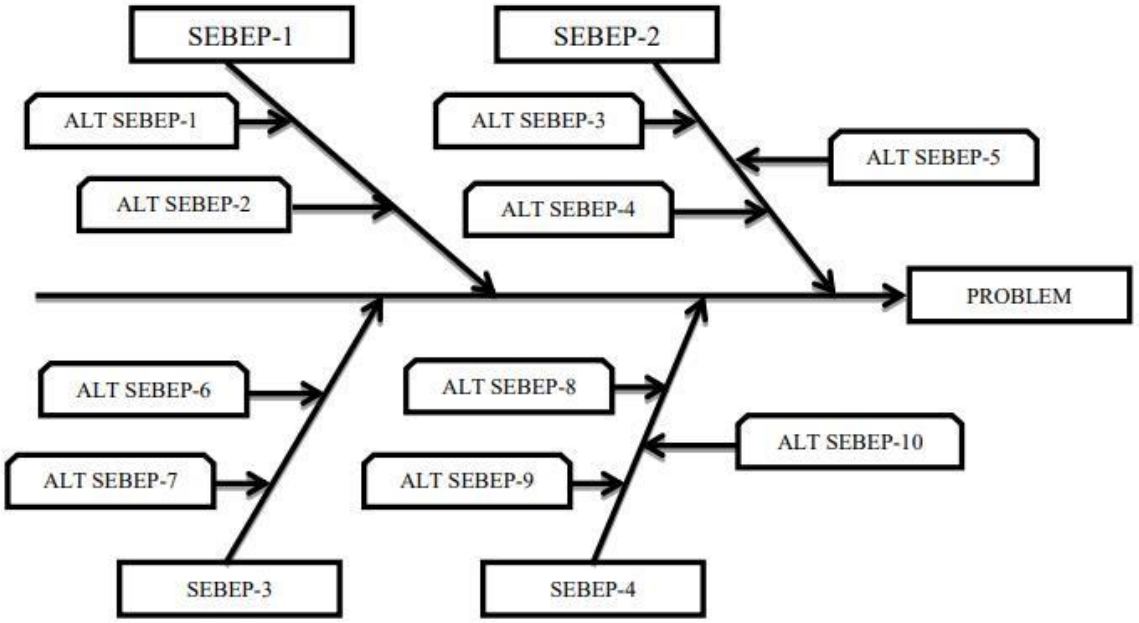
Sonuç olarak, madencilik sektöründe güvenlik risklerinin etkin yönetimi için geleneksel yaklaşımlardan ziyade, kök neden analizine dayalı yöntemlerin benimsenmesi gerekmektedir. Balık Kılçığı Analizi, kazaların ardında yatan ana sebepleri belirleyerek, sürdürülebilir bir güvenlik kültürünün oluşturulmasına katkıda bulunmaktadır. Bu çalışmada, söz konusu yöntemin madencilik sektöründe nasıl uygulanabileceği ve güvenli üretim süreçlerine nasıl entegre edilebileceği detaylı bir şekilde ele alınacaktır. Ayrıca, madencilikte karşılaşılan risk faktörlerinin insan, ekipman, çevresel ve yönetimsel faktörler çerçevesinde sistematik olarak analiz edilmesi sağlanarak, iş sağlığı ve güvenliği politikalarına yönelik daha etkin stratejiler geliştirilmesi amaçlanmaktadır. Çalışmanın özgün katkısı, Balık Kılçığı Analizi'nin madencilik sektörüne özel olarak nasıl

uyarlanabileceğini ortaya koyarak, geleneksel risk analiz yöntemlerine kıyasla daha kapsamlı ve derinlemesine bir değerlendirme sunmasıdır.

2. BALIK KILÇIĞI ANALİZİ

Balık Kılçığı Analizi, diğer adıyla Ishikawa Diyagramı, bir problemin temel nedenlerini sistematik bir şekilde belirlemek ve kategorilere ayırmak için kullanılan bir kök neden analiz yöntemidir (Ishikawa, 1990). Japon kalite yönetimi uzmanı Kaoru Ishikawa tarafından 1960'lı yıllarda geliştirilen bu yöntem, başlangıçta üretim süreçlerindeki kalite sorunlarını analiz etmek amacıyla kullanılmış, ancak zamanla mühendislik, sağlık sektörü, hizmet yönetimi ve iş güvenliği gibi alanlarda da yaygınlaşmıştır (PMI, 2024). Şekil 1, genel bir Balık Kılçığı Diyagramı'nı göstermektedir. Bu diyagramın yapısında, problemin yer aldığı "baş" kısmından çıkan dallar, problemi etkileyen ana nedenleri temsil ederken, bu ana nedenlerden çıkan alt dallar daha spesifik kök nedenleri göstermektedir (Atalay ve Kılıç, 2015).

Bu analiz yöntemi, kalite yönetimi, süreç iyileştirme ve risk yönetimi gibi birçok alanda etkili bir araç olarak kullanılmaktadır. İş sağlığı ve güvenliği (İSG) alanında ise, iş kazalarının nedenlerini analiz etmek ve önleyici tedbirler geliştirmek için uygulanmaktadır. Özellikle görselleştirme gücü sayesinde, farklı faktörler arasındaki ilişkiyi net bir şekilde ortaya koyarak, ekiplerin daha etkin çözüm yolları geliştirmesine yardımcı olur (Eyüboğlu, 2018). Şekil 1'de gösterildiği gibi, bu yöntemin sistematik yapısı, problemlerin kök nedenlerini belirlemeyi ve çözüm stratejileri geliştirmeyi kolaylaştırmaktadır (Seker, 2014).



Şekil 1. Balık Kılçığı Diyagramı (Atalay ve Kılıç, 2015)

3. LİTERATÜR ÇALIŞMASI

Yeraltı kömür madenciliği, doğası gereği birçok risk faktörünü barındıran tehlikeli bir sektördür. Madenciler, metan gazı ve kömür tozu patlamaları, göçükler, zararlı gaz maruziyeti, mekanik ve elektriksel kazalar gibi birçok tehdit ile karşı karşıyadır. Bu riskler, uygun mühendislik önlemleri, etkili havalandırma sistemleri, düzenli güvenlik eğitimleri ve modern madencilik teknolojileri ile azaltılabilir. Ancak, iş sağlığı ve güvenliği tedbirlerinin ihmal edilmesi ciddi kazalara ve meslek hastalıklarına yol açabilir.

Yeraltı kömür madenciliğinde karşılaşılan temel risk faktörleri şunlardır (Tezel, 2010):

- **Metan Gazı ve Kömür Tozu Patlamaları:** Yetersiz havalandırma veya birikmiş kömür tozu, patlama riskini artırır.
- **Göçükler:** Yanlış tahkimat uygulamaları ve aşırı zemin basıncı sonucu tavan çökmeleri meydana gelebilir.

- **Zararlı Gaz Maruziyeti:** Karbon monoksit, kükürt dioksit gibi gazlar solunum yoluyla ciddi sağlık sorunlarına neden olabilir.
- **Elektrik ve Mekanik Ekipman Riskleri:** Arızalı veya yanlış kullanılan ekipmanlar yangın, patlama ve sıkışma riskleri yaratır.
- **Meslek Hastalıkları:** Kömür tozuna uzun süre maruz kalan madencilerde silikozis ve solunum hastalıkları görülebilir.
- **Acil Durum Yönetimi:** Yetersiz tahliye yolları ve acil durum planları, kazaların etkisini artırabilir.

Balık Kılçığı Analizi, kök neden analizi kapsamında madencilik sektöründe iş kazalarının, üretim verimsizliklerinin ve güvenlik açıklarının tespit edilmesinde etkili bir araç olarak kullanılmaktadır (Bhattacharjee vd., 2020). Yeraltı madenciliği, doğası gereği yüksek risk içeren bir sektör olduğu için, kazaların önlenebilmesi adına risk faktörlerinin sistematik olarak analiz edilmesi gerekmektedir (Li vd., 2022). Literatürde, Balık Kılçığı Analizi'nin madencilik sektöründe farklı amaçlarla kullanıldığına dair birçok çalışma bulunmaktadır. Bu çalışmaların bir kısmı kaza incelemeleri üzerine yoğunlaşırken, diğer bir kısmı önleyici güvenlik tedbirlerinin geliştirilmesine odaklanmaktadır (Chen vd., 2022).

Örneğin, Bhattacharjee ve arkadaşları (2022), madencilikte kömür tozu patlamalarının kök nedenlerini analiz etmek için Balık Kılçığı Analizi ve Accident Causation Tree (ACT) modelini birleştirmiştir. Çalışmada, madencilik kazalarının çoğunun yetersiz bakım süreçleri, eğitim eksikliği, havalandırma problemleri ve çevresel değişkenlerden kaynaklandığı vurgulanmıştır. Benzer şekilde, Chen ve arkadaşları (2022), madencilik sektöründeki büyük çaplı kazaları önlemek için Balık Kılçığı Analizi'ni STAMP/STPA modeli ile entegre ederek, sistematik risk yönetimi sürecine nasıl katkı sağladığını göstermiştir. Bu araştırma, proaktif risk değerlendirme süreçlerinin kazaları önlemede kritik bir rol oynadığını kanıtlamaktadır.

Ayrıca, Li ve arkadaşları (2022), madencilik sektöründeki iş kazalarının nedenlerini belirlemek için veri madenciliği, Bayes ağları ve Balık Kılçığı Analizi'ni birleştirerek, daha doğru tahmin modelleri oluşturulabileceğini ortaya koymuştur. Bu çalışmaya göre, geleneksel analiz yöntemleri yalnızca geçmiş verilere dayanırken, Balık Kılçığı Analizi ile desteklenen modeller gelecekte meydana gelebilecek kazaları daha doğru tahmin etmeye yardımcı olmaktadır.

Diğer önemli bir çalışma ise Altındiş ve Bayram (2024) tarafından gerçekleştirilmiş olup, madencilik sektöründe iş kazalarının nedenlerini belirlemek ve önleyici politikalar geliştirmek için Balık Kılçığı Analizi'nin kullanımını ele almıştır. Araştırma, özellikle yüksek riskli kömür madenciliği işletmelerinde kazaların %70'inin önlenebilir faktörlerden kaynaklandığını göstermiştir. Bakım süreçlerindeki eksiklikler, insan hataları ve çevresel faktörler, kazalara en fazla neden olan unsurlar olarak öne çıkmıştır.

Samaranayake ve arkadaşları (2023) tarafından yapılan bir diğer çalışmada ise, madencilikte Lean Six Sigma yöntemleri ile Balık Kılçığı Analizi'nin birleştirilerek, iş güvenliği uygulamalarının nasıl geliştirilebileceği incelenmiştir. Çalışma, özellikle işletmelerin üretim süreçlerini optimize etmesi ve kazaları önleyici stratejiler geliştirmesi için Balık Kılçığı Diyagramı'nın kritik bir araç olduğunu ortaya koymuştur.

Sonuç olarak, literatürde yapılan araştırmalar, Balık Kılçığı Analizi'nin madencilik sektöründe hem kaza inceleme süreçlerinde hem de önleyici güvenlik yönetimi uygulamalarında etkin bir şekilde kullanıldığını göstermektedir. Bu analiz yöntemi, madencilikteki yüksek risk faktörlerini belirlemek, kök nedenleri analiz etmek ve daha güvenli çalışma koşulları geliştirmek açısından önemli bir yere sahiptir.

4. RİSK FAKTÖRLERİNİN KATEGORİZASYONU

Yeraltı kömür madenciliği, çok çeşitli risk faktörlerinin bir araya geldiği ve sistematik olarak yönetilmesi gereken yüksek tehlike içeren bir sektördür. Maden kazalarının büyük bir kısmı tek bir faktörden değil, birbirini tetikleyen birden fazla unsurun birleşiminden kaynaklanmaktadır (Tezel, 2010). Bu nedenle, kazaların temel nedenlerinin belirlenebilmesi için kök neden analizine dayalı yöntemler büyük önem taşımaktadır. Balık Kılçığı Analizi (Ishikawa Diyagramı), bu kapsamda kazaların ardındaki nedenleri sistematik olarak sınıflandırarak, her bir faktörün olay üzerindeki etkisini belirlemeye yardımcı olmaktadır (Eyüboğlu, 2018).

Literatürde, yeraltı kömür madenciliğinde karşılaşılan risk faktörleri çevresel, teknik, yönetimsel ve insan kaynaklı faktörler olmak üzere dört ana başlık altında incelenmektedir. Balık Kılçığı Analizi bu faktörleri görselleştirerek, riskler arasındaki bağlantıları belirgin hale getirir ve iş kazalarının kök nedenlerini tespit etmeyi kolaylaştırır. Bu bağlamda, madencilikte risklerin yalnızca yüzeysel sonuçlarıyla değil, temel sebepleriyle mücadele edebilmek için sistematik analiz yöntemlerine duyulan ihtiyaç açıktır (Küçüker, 2006).

Balık Kılçığı Diyagramı kullanılarak yapılan analizlerde, madencilik kazalarının ana nedenleri şu kategoriler altında sınıflandırabilir:

4.1. Çevresel Faktörler

Yeraltı madenciliği, çalışma ortamındaki doğal tehlikelerle doğrudan bağlantılı bir sektördür. Çevresel faktörler, genellikle maden sahasının jeolojik yapısından, havalandırma sistemlerinden ve gaz birikimlerinden kaynaklanan tehlikeleri kapsamaktadır.

- **Metan Gazı Patlamaları:** Kömür damarlarından doğal olarak salınan metan gazı, patlayıcı özellik taşıdığı için madencilikte büyük bir risk oluşturmaktadır. Yetersiz havalandırma veya gaz tahliye sistemleri, metan

birikimini artırarak tehlikeyi daha da büyütmektedir (Bhattcharjee vd., 2019).

- **Jeolojik İstikrarsızlık:** Zayıf kaya yapıları ve doğal sismik hareketler, yeraltı galerilerinin çökmesine neden olabilir. Yetersiz tahkimat sistemleri bu riski daha da artırmaktadır (Dychkovskyi vd., 2018).
- **Su Baskınları:** Yeraltı su seviyesinin yükselmesi veya drenaj sistemlerinin yetersiz olması, ani su baskınlarına yol açarak işçileri tehlikeye atmaktadır (Qi vd., 2023).
- **Havalandırma Eksiklikleri:** Yetersiz hava akışı, karbonmonoksit ve diğer toksik gazların madencilerin solunum yollarına zarar vermesine neden olabilir (Brodny ve Tutak, 2021).

4.2. Teknik ve Ekipman Kaynaklı Faktörler

Madencilik sektöründe kullanılan ekipmanların güvenilirliği ve bakımı, iş sağlığı ve güvenliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Bakımı yapılmayan veya teknolojik olarak yetersiz makineler, risk seviyesini artırmaktadır (Pollard vd., 2014).

- **Makine ve Ekipman Arızaları:** Yetersiz bakım, aşınma veya tasarım kusurları nedeniyle makinelerde meydana gelen arızalar, kazaların başlıca sebeplerindendir (Bialy, 2019).
- **Sensör ve Algılama Sistemlerindeki Eksiklikler:** Gaz algılama sensörlerinin düzenli olarak kalibre edilmemesi, karbonmonoksit ve metan gibi tehlikeli gazların geç fark edilmesine yol açabilir (Muduli vd., 2018).
- **Yetersiz Tahkimat ve Destek Sistemleri:** Madencilikte kullanılan tahkimat ve destek sistemlerinin yanlış uygulanması, göçüklere neden olabilmektedir (Samantra vd., 2017).

4.3. Yönetimsel ve Organizasyonel Faktörler

Madencilik sektöründeki kazaların büyük bir kısmı, yönetimsel ihmaller ve organizasyonel eksikliklerden kaynaklanmaktadır. İş güvenliği yönetimi ve denetim süreçlerindeki yetersizlikler, madencilerin maruz kaldığı riskleri artırmaktadır (Paul vd., 2007).

- **Denetim Eksiklikleri:** İş güvenliği protokollerinin düzenli olarak denetlenmemesi, risklerin fark edilmesini ve önleyici tedbirlerin uygulanmasını zorlaştırmaktadır (Zhang vd., 2020).
- **Acil Durum Planlarının Eksikliği:** Tahliye prosedürlerinin eksik olması veya acil müdahale ekiplerinin yetersizliği, kazaların sonuçlarını ağırlaştırmaktadır (Onifade, 2021).
- **Güvenlik Kültürünün Eksikliği:** Madencilik işletmelerinde güvenlik bilincinin yetersiz olması, kazaların artmasına neden olmaktadır (Tetzlaff vd., 2021).

4.4. İnsan Kaynaklı Faktörler

İnsan faktörü, madencilik kazalarının en önemli bileşenlerinden biri olarak kabul edilmektedir. İşçilerin eğitimi, dikkat seviyeleri ve koruyucu ekipman kullanımı gibi unsurlar, iş güvenliği üzerinde doğrudan etkiye sahiptir (Chen vd., 2012).

- **Eğitim Eksikliği ve Deneyimsizlik:** Yeterli eğitim almadan işe başlayan işçilerin ekipmanları yanlış kullanması veya güvenlik kurallarını ihmal etmesi, kazaların en yaygın nedenlerinden biridir (Wang vd., 2019).
- **Dikkatsizlik ve Yorgunluk:** Uzun vardiyalar ve fiziksel zorluklar, çalışanların dikkat seviyesini düşürerek hatalara neden olabilmektedir (Knight, 2018).

- **Kişisel Koruyucu Ekipman (KKE) Kullanımındaki Eksiklikler:** Koruyucu ekipmanların yanlış kullanımı veya işçilerin bunları ihmal etmesi, yaralanmaların ciddiyetini artırmaktadır (Kilinç vd., 2014).

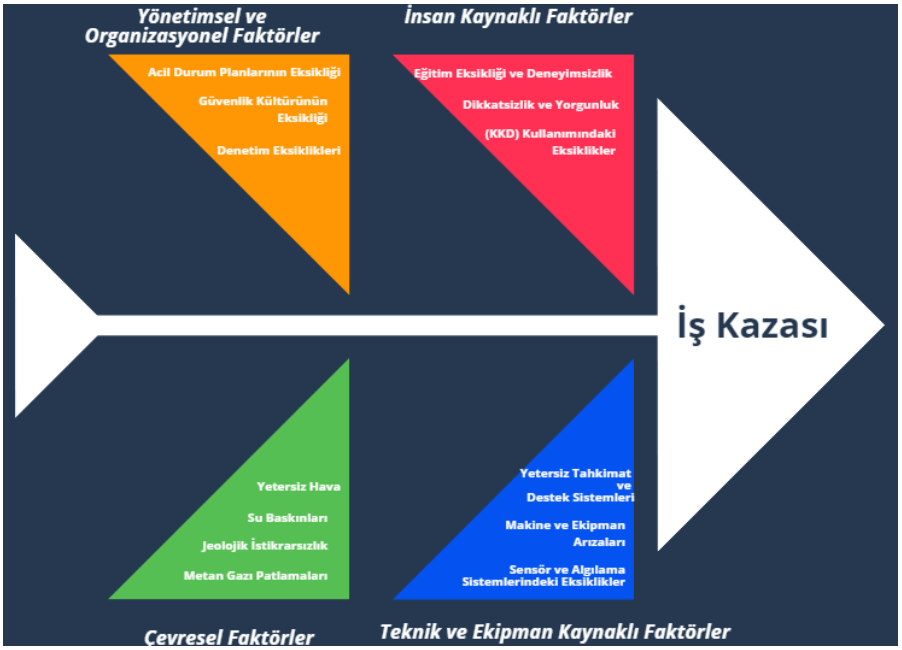
4.5. Kök Nedenlerin Analizi ve Balık Kılçığı Diyagramı

Yeraltı kömür madenciliğinde meydana gelen kazalar, çoğunlukla tek bir faktörden değil, birden fazla unsurun birleşimi ve etkileşimi sonucu ortaya çıkmaktadır. Geleneksel risk analiz yöntemleri genellikle kazaların yüzeysel nedenlerini ele alırken, Balık Kılçığı Analizi (Ishikawa Diyagramı), iş kazalarının temel sebeplerini belirleyerek, önleyici tedbirlerin daha etkili bir şekilde uygulanmasını sağlamaktadır. Bu yöntem, kazalara yol açan insan, ekipman, çevresel ve yönetimsel faktörleri sistematik bir şekilde sınıflandırarak, risklerin neden-sonuç ilişkisini ortaya koymaktadır.

Balık Kılçığı Analizi madencilik sektöründe özellikle çalışma ortamında karşılaşılan temel tehlikelerin sistematik olarak değerlendirilmesine ve önleyici güvenlik stratejilerinin geliştirilmesine olanak tanımaktadır. Örneğin, metan gazı patlamaları gibi büyük kazalar genellikle tek bir nedenle değil, birbirini etkileyen çok sayıda faktörün birleşimiyle meydana gelmektedir. Yetersiz havalandırma (çevresel faktör), gaz sensörlerindeki arızalar (teknik faktör), denetim eksikliği (yönetimsel faktör) ve çalışanların güvenlik prosedürlerine tam olarak uymaması (insan faktörü) gibi unsurların bir araya gelmesi, patlama riskini artırmaktadır. Bu nedenle, Balık Kılçığı Diyagramı, farklı faktörler arasındaki ilişkileri görselleştirerek, risklerin yönetilmesine yönelik bütüncül bir çerçeve sunmaktadır.

Şekil 2'de sunulan Balık Kılçığı Diyagramı, madencilik sektöründe iş kazalarına neden olan temel faktörleri sistematik bir şekilde ortaya koymaktadır. Bu diyagramda, ana gövde iş kazasını temsil ederken, ana dallar dört temel risk faktörünü (çevresel, teknik, yönetimsel ve insan kaynaklı faktörler)

göstermektedir. Her bir kategori altında, kazaya yol açabilecek daha spesifik alt nedenler listelenmiştir. Bu görselleştirme yöntemi sayesinde, kazalara yol açan temel sebepler net bir şekilde analiz edilerek, önleyici güvenlik tedbirlerinin hangi alanlara yoğunlaştırılması gerektiği belirlenebilir.



Şekil 2. Yeraltı Madenciliğinde Risk Faktörleri İçin Balık Kılçığı Diyagramı

Balık Kılçığı Analizi'nin madencilik sektöründe kullanımı, şu açılardan önem taşıdığı düşünülmektedir:

- Kazalara neden olan faktörleri kategorilere ayırarak kök nedenlerin belirlenmesini sağlaması.
- Risk faktörleri arasındaki etkileşimleri analiz ederek, madencilikte karşılaşılan kompleks sorunları daha iyi anlamaya yardımcı olması.
- Önleyici güvenlik stratejilerinin, riskleri ortadan kaldıracak şekilde yapılandırılmasına katkıda bulunması.

5. TARTIŞMA VE SONUÇ

Geleneksel risk analiz yöntemleri, madencilik sektöründe uzun yıllardır kullanılan ve genellikle tehlikelerin frekansına ve şiddetine dayalı değerlendirmeler sunan yaklaşımlardır. Örneğin, Risk Matrisleri, Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) ve Olay Ağacı Analizi (ETA) gibi yöntemler, belirli risk seviyelerini tahmin ederek önleyici tedbirlerin alınmasına katkıda bulunur. Ancak bu geleneksel yöntemler, çoğunlukla mevcut riskleri ölçmeye odaklanırken, kazaların ardındaki kök nedenleri belirleme konusunda yetersiz kalmaktadır. Özellikle risk matrisleri gibi yöntemler, öznel değerlendirmelere dayanabildiği için karar vericiler arasında değişkenlik gösterebilir ve risk faktörleri arasındaki etkileşimleri göz ardı edebilir. Bu durum, karmaşık ve çok nedenli kazaların analizinde eksikliklere yol açmaktadır.

Bu noktada, Balık Kılçığı Analizi'nin en büyük avantajı, kazaları yalnızca belirli risk seviyeleri üzerinden değil, neden-sonuç ilişkileri çerçevesinde bütüncül bir yaklaşımla ele almasıdır. Bu yöntem, kazaların temel sebeplerini sistematik bir şekilde kategorize ederek, risk faktörleri arasındaki ilişkileri açıkça görselleştirmeye olanak tanımaktadır. Ancak, Balık Kılçığı Analizi daha çok niteliksel bir değerlendirme sunduğu için, risk seviyelerini sayısal olarak ölçmek isteyen araştırmalar açısından tek başına yeterli olmayabilir. Bu nedenle, geleneksel kantitatif yöntemlerle birlikte kullanılması durumunda en etkin sonuçları verdiği ve özellikle kök nedenleri belirleyip, önleyici güvenlik tedbirlerini geliştirmek açısından değerli bir tamamlayıcı araç olduğu söylenebilir.

Bu çalışmada, Balık Kılçığı Analizi'nin madencilik sektöründe iş kazalarının önlenmesine yönelik uygulanabilirliği incelenmiş ve risk faktörlerinin insan, ekipman, çevresel ve yönetimsel unsurlar çerçevesinde sistematik olarak sınıflandırılması sağlanmıştır. Çalışmanın bulguları, Balık Kılçığı Analizi'nin madencilik güvenliğinde etkin bir araç olduğunu göstermektedir. Yöntem,

kazaların yalnızca yüzeyde görünen nedenlerini değil, ardındaki kök nedenleri de ortaya koyarak önleyici tedbirlerin daha etkili bir şekilde uygulanmasına olanak tanımaktadır. Ancak, bu analiz yöntemi tek başına yeterli değildir; etkin bir güvenlik yönetimi için teknoloji tabanlı izleme sistemleri, eğitim programları, düzenli bakım süreçleri ve güvenlik denetimlerinin entegre bir şekilde uygulanması gerekmektedir.

Gelecekte yapılacak çalışmalar, saha verileri kullanılarak Balık Kılçığı Analizi'nin etkinliğini daha derinlemesine test etmeye ve risk faktörlerinin daha kantitatif bir şekilde değerlendirilmesine odaklanmalıdır. Özellikle, farklı maden sahalarında yapılan saha analizleri ve madencilik kazalarının geçmiş verileri üzerinden modelleme çalışmaları ile yöntemin doğruluğu ve uygulanabilirliği artırılabilir. Balık Kılçığı Analizi'nin diğer risk değerlendirme yöntemleriyle entegre edilerek nasıl daha güçlü hale getirilebileceği de araştırılmalıdır.

Sonuç olarak, madencilikte iş sağlığı ve güvenliğinin iyileştirilmesi için kazaların temel nedenlerini belirleyen ve önleyici tedbirleri destekleyen sistematik analizlerin uygulanması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada ele alınan yöntemler, daha güvenli madencilik operasyonlarının geliştirilmesine katkı sağlayacak önemli araçlardır.

KAYNAKLAR

Altındiş, B., & Bayram, F. (2024). Data mining implementations for determining root causes and precautions of occupational accidents in underground hard coal mining. Safety and Health at Work, 15(4), 427-434.

Atalay, O., & Kılıç, Ö. (2015). balık kılçığı yöntemi ile mobil vinç kazası olası nedenlerinin incelenmesi. Çukurova Üniversitesi Mühendislik-Mimarlık Fakültesi Dergisi, 30(1), 73-78.

Bayraktar, B., Uyguçgil, H., & Konuk, A. (2018). Türkiye madencilik sektöründe iş kazalarinin istatistiksel analizi. Scientific Mining Journal, 57, 85-90.

Bhattacharjee, R. M., Dash, A. K., & Paul, P. S. (2020). A root cause failure analysis of coal dust explosion disaster–Gaps and lessons learnt. Engineering failure analysis, 111, 104229.

Bhattcharjee, R. M., Dash, A. K., & Panigrahi, D. C. (2019). Lessons learnt from Bhatdee Coal mine explosion disaster in India using root cause analysis technique. In Proceedings of the 11th International Mine Ventilation Congress (pp. 439-446). Springer Singapore.

Biały, W. (2019). Equipment/machinery failure rate in hard coal mines. New Trends in Production Engineering, 2(1), 353-363.

Brodny, J., & Tutak, M. (2021). Applying computational fluid dynamics in research on ventilation safety during underground hard coal mining: A systematic literature review. Process Safety and Environmental Protection, 151, 373-400.

Chen, H., Qi, H., Long, R., & Zhang, M. (2012). Research on 10-year tendency of China coal mine accidents and the characteristics of human factors. Safety science, 50(4), 745-750.

Chen, Z. L., Shi, J. W., Ye, Y. Q., Wang, Y., & Wang, H. (2022). Research on risk management and prevention and control system of major disasters in coal mine based on fish-bone diagram and STAMP/STPA model. Int. J. Front. Eng. Technol, 4, 86-95.

Dündar, S., Bilim, N., & Bilim, A. (2018). Ülkemizdeki maden sektöründe meydana gelen iş kazası ve meslek hastalıklarının analizi. Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi, 7(2), 423-432.

Dychkovskyi, R. O., Lozynskyi, V. H., Saik, P. B., Petlovanyi, M. V., Malanchuk, Y. Z., & Malanchuk, Z. R. (2018). Modeling of the disjunctive geological fault influence on the exploitation wells stability during underground coal gasification. Archives of Civil and Mechanical Engineering, 18, 1183-1197.

Erol, İ., & Ürünveren, A. (2021). Yeraltı kömür madenlerinde meydana gelen büyük maden kazaları. Karaelmas Journal of Occupational Health and Safety, 5(3), 193-207.

Eyüboğlu, A. K. (2018). Maden ışletmelerinde kaza ve risk analizlerinin geliştirilmesi (Doctoral dissertation, Dokuz Eylul Universitesi (Turkey)).

Eyüboğlu, A. K., & Özfırat, M. K. (2017). İş kazalarının kök neden analizleri. Uluslararası Maden İşletmelerinde İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Sempozyumu, Adana, Türkiye.

Ishikawa, K., & Loftus, J. H. (1990). Introduction to quality control (Vol. 98, p. 31). Tokyo: 3A Corporation.

Kilinc, F. S., Monaghan, W. D., & Powell, J. B. (2014). A review of mine rescue ensembles for underground coal mining in the United States. Journal of engineered fibers and fabrics, 9(1), 155892501400900120.

Knight, C. E. J. (2018). The mediating role of mindfulness, attention and situational awareness on driving performance in a virtual reality underground mine (Doctoral dissertation).

Kucuker, H. (2006). Occupational fatalities among coal mine workers in Zonguldak, Turkey, 1994–2003. Occupational Medicine, 56(2), 144-146.

Li, S., You, M., Li, D., & Liu, J. (2022). Identifying coal mine safety production risk factors by employing text mining and Bayesian network techniques. Process safety and environmental protection, 162, 1067-1081.

Muduli, L., Mishra, D. P., & Jana, P. K. (2018). Application of wireless sensor network for environmental monitoring in underground coal mines: A systematic review. Journal of Network and Computer Applications, 106, 48-67.

Nie, P. H. (2016). Safety quality management in the underground coal mine based on Six Sigma. Electron J Geotech Eng, 21, 7055-7067.

Onifade, M. (2021). Towards an emergency preparedness for self-rescue from underground coal mines. Process Safety and Environmental Protection, 149, 946-957.

Özfırat, M. K., Yetkin, M. E., Şimşir, F., & Kahraman, B. (2016). Assesment Of Current Hazard Sources In Longwall Productıon In Terms of Work Safety. Scientific Mining Journal, 55(1), 3-16.

Paul, P. S., & Maiti, J. (2007). The role of behavioral factors on safety management in underground mines. Safety science, 45(4), 449-471.

Pollard, J., Heberger, J., & G. Dempsey, P. (2014). Maintenance and repair injuries in US mining. Journal of quality in maintenance engineering, 20(1), 20-31.

Project Management Institute PMI. (2024). Business Analysis for Practitioners: A Practice Guide. Project Management Institute.

QI, Q., SUN, Z., LIU, W., WANG, A., YANG, J., LIU, S., ... & WANG, W. (2023). Study on risk assessment model of coal mine water accident induced by flood disaster. Coal Science and Technology, 51(1), 395-402.

Samantra, C., Datta, S., & Mahapatra, S. S. (2017). A risk-based decision support framework for selection of appropriate safety measure system for underground coal mines. International journal of injury control and safety promotion, 24(1), 54-68.

Samaranayake, P., McLean, M. W., & Weerabahu, S. K. (2023). Application of lean and quality improvement methods for improving operational performance in coal supply chains: a case study. Emerald Insight.

Samaranayake, P., McLean, M. W., & Weerabahu, S. K. (2024). Application of lean and quality improvement methods for improving operational performance in coal supply chains: a case study. International Journal of Quality & Reliability Management, 41(6), 1594-1622.

Seker, S. E. (2014). Sebep Etki Diyagramları (Cause and Effect Diagrams, Fishbone Diagrams). YBS Ansiklopedi, 1(4), 2-4.

Tetzlaff, E. J., Goggins, K. A., Pegoraro, A. L., Dorman, S. C., Pakalnis, V., & Eger, T. R. (2021). Safety culture: a retrospective analysis of occupational health and safety mining reports. Safety and health at work, 12(2), 201-208.

Tezel, M. (2010). Başkanlığı, Yeraltı ve Yerüstü Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Rehberi.

Uğur, S., & Topkaya, Ö. (2015). Kömür madenciliği sektörü ve Uluslararası Çalışma Örgütü'nün 176 sayılı sözleşmesi ile bu sektöre yönelik yürürlüğe konan iş sağlığı ve güvenliği düzenlemeleri. Siyaset, Ekonomi ve Yönetim Araştırmaları Dergisi, 3, 241-256.

Wang, C., Wang, J., Wang, X., Yu, H., Bai, L., & Sun, Q. (2019). Exploring the impacts of factors contributing to unsafe behavior of coal miners. Safety science, 115, 339-348.

Zhang, J., Fu, J., Hao, H., Fu, G., Nie, F., & Zhang, W. (2020). Root causes of coal mine accidents: Characteristics of safety culture deficiencies based on accident statistics. Process Safety and Environmental Protection, 136, 78-91.

İŞ KAZASI KAVRAMINA YENİ BİR TANIM İHTİYACI

THE NEED OF A NEW DEFINITION FOR THE CONCEPT OF WORK ACCIDENT

Aygün Ekici
İmbat Madencilik, Manisa

ÖZ: Çalışma yaşamına ilişkin mevzuatların, hayatın akışı içinde güncellenmesi gerekmektedir. Çağın ihtiyaçları, bilim ve teknikteki gelişmeler, yaşanan kaza ve diğer tecrübeler ışığında mevzuatlar güncellenir. "İş kazası", sonuçları itibariyle çalışma yaşamında önemli bir insani ve ekonomik faktördür. Böylesine önemli bir kavramın baştan doğru tanımlanması büyük önem taşımaktadır. Oysa mevzuatımızdaki geçerli iş kazası tanımı 1964 Tarihli ve 506 Sayılı Sosyal Sigortalar Kanunundan alınmıştır. Zaman geçtikçe karşılaşılan istisnai durumlar için Yargıtay Kararları ve SSK Genelgeleri ile iş kazası tanımı bambaşka bir şekle büründürülmüştür. Gelinen noktada yaşanan karmaşaya bir son verilmesi adına iş kazası tanımının yeniden güncellenmesi ihtiyacı doğmuştur. Bu bildiride, mevzuatımızdaki durum ile dünyada kabul gören iş kazası tanımları karşılaştırılmış, bazı öneriler sunulmuştur.

Anahtar kelimeler: İş kazası, 506 Sayılı Kanun, 5510 Sayılı Kanun

ABSTRACT: *Legislation regarding working life needs to be updated in the course of life. Legislation is updated in light of the needs of the age, developments in science and technology, accidents and other experiences. "Work accident" is an important human and economic factor in working life due to its consequences. It is of great importance to define such an important concept correctly from the beginning. However, the valid definition of work accident in our legislation is taken from the Social Insurance Law No. 506 of 1964. The definition of work accident has been transformed into a completely different form with the Supreme Court Decisions and SSK Circulars for exceptional situations encountered over time. At this point, there is a need to re-update the definition of work accident in order to put an end to the confusion. In this paper, the situation in our legislation is compared with the definitions of work accidents accepted in the world, and some suggestions are presented.*

Keywords: *Work accident, Law No. 506, Law No. 5510*

1. ÇALIŞMA YAŞAMI İLE İLGİLİ MEVZUATLARIN GÜNCELLENMESİNİN ÖNEMİ

Çalışma yaşamına ilişkin kural ve tanımlamalar esas olarak Kanun, Kararname, Yönetmelik ve Genelgelerle belirlenir. Çağın ihtiyaçlarına, bilim ve teknikteki gelişmelere, yaşanan kaza ve diğer tecrübelere göre bu mevzuatlar güncellenir. Güncellemenin yapılmaması, o alanda ekonomik, sosyal ve hukuksal bazı sorunların yaşanmasına neden olur, hatta iş güvenliği riskleri bile doğurabilir. Kuşkusuz ki bu güncellemeler ilgili konuda birikimi olan kişiler ve çalışma grupları tarafından yapılmalıdır.

2. İŞ KAZASININ MEVZUATTAKİ YERİ VE TANIMI

İş kazası, ilk olarak 1964 Tarihli 506 Sayılı Sosyal Sigortalar Kanununda tanımlanmıştır. Günümüzde, 2006 Tarihli 5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununda yer almaktadır. 506 Sayılı Kanun'daki maddelerin birçoğu, 2008 yılından itibaren 5510 Sayılı Kanun'a bazı küçük değişikliklerle taşınmıştır.

2.1. 5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu Tanımı

5510 Sayılı Kanun Madde:13'de İş kazası;

a) Sigortalının işyerinde bulunduğu sırada,

b) İşveren tarafından yürütülmekte olan iş nedeniyle, sigortalı kendi adına ve hesabına bağımsız çalışıyorsa yürütmekte olduğu iş nedeniyle (Değişik: 17/4/2008-5754/8 md.),

c) Bir işverene bağlı olarak çalışan sigortalının, görevli olarak işyeri dışında başka bir yere gönderilmesi nedeniyle asıl işini yapmaksızın geçen zamanlarda,

d) Bu Kanunun 4'üncü maddesinin birinci fıkrasının (a) bendi kapsamındaki emziren kadın sigortalının, iş mevzuatı gereğince çocuğuna süt vermek için ayrılan zamanlarda (Değişik: 17/4/2008-5754/8 md.),

e) Sigortalıların, işverence sağlanan bir taşıtla işin yapıldığı yere gidiş gelişi sırasında,

meydana gelen ve sigortalıyı hemen veya sonradan bedenen ya da ruhen engelli hale getiren olaydır.

2.2. İş Kazası Tanımının Değerlendirilmesi

1960'ların sosyal devlet ilkesine göre yazıldığı anlaşılan bu tanımda bir işveren ve bir sigortalıdan söz edilmektedir. Tanım, 2008 yılında 506 Sayılı Kanun'dan 5510 Sayılı Kanun'a taşınırken bu tanımın kendi işini yapanları kapsamadığı fark edilmiş ve değişiklik olarak bu husus "b" fıkrasına eklenmiştir. Merdiven altı işyerlerinde sigortasız çalışanlar ise muhtemelen bu tanımın kapsamı dışında kalmaktadır.

Tanımda, "…sigortalıyı hemen veya sonradan bedenen ya da ruhen engelli hale getiren olay" ibaresindeki "olay"dan kastedilenin, işin yürütümü sırasında tehlikeli ortam/tehlikeli davranışlar veya öngörülemeyen tehlikeler nedeniyle sigortalıyı engelli hale getiren bir olayı tariflediği açıktır.

Devlet memuru ve sözleşmeli personel olarak çalışanların durumu da bu tanım kapsamında belirsizdir.

Öte yandan bir sigortalıyı "…hemen veya sonradan bedenen ya da ruhen engelli hale getirmeyen…" diğer olaylar bu tanıma göre iş kazası sayılmamaktadır. Örneğin bir fabrikanın kimsenin zarar görmeyeceği şekilde yanıp kül olması, herkesin işsiz kalmasına rağmen mevzuatımızdaki tanıma göre iş kazası değildir.

Söz konusu tanım Sosyal Sigortalar Kanununda yer aldığından, olgunun bütününün ne olduğu değil sigortalı bireyleri etkileyen sonucu ve bu sonucun "SSK"yı ilgilendiren tedavi ve diğer harcamalar öne çıkarılarak, sonuç odaklı bir tanım yapılmıştır.

İş kazası tanımında yer alan 5 durum, 506 Sayılı Kanun'un çıkarılmasından bu yana aradan geçen 61 yılda yetersiz kalmış, karşılaşılan istisnai durumlar dava konusu olmuş, Yargıtay kararları ve SGK Genelgeleri ile diğer bazı durumlar da iş kazasından sayılmıştır.

2.3. Mevzuatımızda İş Kazasının Diğer Tanımı

2012 Tarihli 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanununda iş kazası şu şekilde tanımlanmıştır:

"İşyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen, ölüme sebebiyet veren veya vücut bütünlüğünü ruhen ya da bedenen özre uğratan olaydır."

Bu tanımda, 5510 Sayılı Kanun'un 13. Maddesindeki tanımda yer alan 5 durum, "İşyerinde veya işin yürütümü nedeniyle meydana gelen…" şeklinde özetlenerek dünyada geçerli diğer tanımlara bir ölçüde benzemesi sağlanmıştır. Ancak bu tanım sonrasında, 5510 Sayılı Kanun'daki eski tanım mülga edilmediği için hukuksal süreçlerde eski tanım geçerliliğini korumaktadır.

2.4. Uluslararası Örgütlerin İş Kazası Tanımları

2.4.1. Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tanımı

"Önceden planlanmamış, çoğu kez kişisel yaralanmalara, makinalar ile araç ve gereçlerin zarara uğramasına, üretimin bir süre durmasına yol açan olay."

2.4.2. Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) tanımı

"Önceden planlanmamış, beklenmeyen, belirli bir zarar ya da yaralanmaya neden olan olay."

2.5. Dünyada Geçerli İş Kazası Tanımlarının Değerlendirilmesi

Uluslararası örgütlerin iş kazası tanımlarında göze çarpan en önemli farklılık, belirli bir yaralanmaya neden olmayan, zarar kapsamındaki olayların da

iş kazası olarak değerlendirilmesidir. Bu örgütler gereksiz ayrıntılara girmeden teknik tanımlar yapmışlardır.

3. MEVZUATIMIZDA İŞ KAZASI SAYILAN DİĞER DURUMLAR

3.1. İş Yerinde Kalp Krizi Geçirmek

Kalp krizi bir kaza olmamakla birlikte, Yargıtay kararları ve SGK genelgeleri çerçevesinde iş kazası olarak kabul edilmiştir. İşyerinde baskı ve stres altında çalışmanın, kalp krizi geçirilmesi ile nedensellik ilişkisi (illiyet bağı) kurulmuştur. Ancak stresin, işyerinde "sigortalıyı engelli hale getiren olay" yerine geçip geçmeyeceği, dolayısıyla Yargıtay'ın söz konusu kararının 5510 Sayılı Kanun'un 13. Maddesindeki iş kazası tanımına uygun olup olmadığı tartışmalıdır. Dolayısıyla Yargıtay'ın söz konusu kararının çeliştiği bile düşünülebilir. Nitekim Yargıtay'ın söz konusu kararında "Kalp krizi bir iş kazası olmamakla birlikte iş kazası sayılmıştır" denmektedir.

Öte yandan stresin kalp krizine yol açıp açmadığı da ayrı bir konudur. Kardiyoloji Uzmanı Prof. Dr. Nevrez Koylan, stresi akut ve kronik stres olarak ayırarak bu durumu şu şekilde değerlendirmektedir:

"Büyük bir afet, bir yakının ölümü veya ciddi mali kriz gibi akut gelişen stres, kalbin alt yapısında bir sorun yoksa kalp krizi üzerinde çok belirleyici bir rol oynamıyor. Buna karşılık, çağımızın önemli sorunları arasında olan kronik stres, depresyon ve anksiyete ise kalp krizine adeta davetiye çıkarıyor."

Bu ve benzeri değerlendirmeler ışığında iş yerinde kalp krizi geçirmenin çalışma ortamından kaynaklanan stres ile nedensellik ilişkisi kurularak, Yargıtay Kararı ile iş yerinde kalp krizi geçiren çalışanlar iş kazası geçirmiş sayılmaktadır.

Yaşanan fiili durumlardan görüldüğü üzere bu kararın zayıf noktası, işyerinde kalp krizi geçiren tüm çalışanları işyeri koşullarından kaynaklanan strese maruz kalmış olarak görmesidir. Herhangi bir olayda işverenin tersini iddia etmesi dikkate alınmaz. Çalışanın sadece işyerinde kalp krizi geçirip vefatı değil,

hastaneye kaldırılıp hastanede vefat etmesi veya tedavi altına alınması da iş kazası sayılması için yeterlidir. Çalışanların işyeri dışında kalp krizi geçirmesi ise iş kazasından sayılmamaktadır. Bu durum, Yargıtay içtihadında iş kazası ile nedensellik ilişkisi kurulan stres türünün, işyerinde ani gelişen akut stres olarak kabul edildiğini düşündürmektedir. Oysa ki kardiyoloji uzmanlarına göre akut stres kalp krizi nedeni değildir. O halde mantıken nedensellik ilişkisi kurulacaksa, işyerinde zamana yayılan kronik strese maruz kalmış olmak değerlendirilmeli, bu tür maruziyet kanıtlarla tespit edildiğinde ise nerede kalp krizi geçirilirse geçirilsin iş kazası sayılmalıdır. 3 Nisan 2008 yılında Burdur'da çalıştığı mermer ocağında kalp krizi geçirip hastanede vefat eden Maden Mühendisi Barbaros Oksun'un vefatı 11 yıl sonra iş kazası sayılmıştır. Kararda, Oksun'un kalp krizi geçirmesinde yaptığı iş veya iş ortamının etkisi olmadığı vurgulanırken "Olayın mesai saatinde gerçekleşmesi yeterli" denilmiştir.

SGK Emeklilik Hizmetleri Genel Müdürlüğünün 29.09.2016 tarihli "Kısa vadeli sigorta kolları uygulamaları" başlıklı 2016/21 sayılı Genelgesi,

"Sigortalının iş yerinde kalp krizi geçirmesi veya başka bir hastalık nedeniyle ölmesi ya da ruhen veya bedenen hemen veya sonradan engelli hale gelmesi iş kazası olarak kabul edilecektir."

3.2. İş Yerinde Beyin Kanaması Geçirmek ve İntihar Etmek

Yargıtay içtihatlarında sigortalının işyerinde beyin kanaması geçirmesi ile işyerinde intihar etmesi de iş kazası kapsamında değerlendirilmiştir. İntiharda, yine strese bağlı olarak bir nedensellik ilişkisi kurulma ihtimali varken beyin kanamasında bu ilişkiyi kurmak pek mümkün değildir. Gelinen noktada, "Olayın mesai saatinde gerçekleşmesi yeterli" kavramı bir çığ gibi yayılarak iş kazası kavramının önüne geçmiştir. Artık işyerinde rahatsızlanan, hatta normaldeki herhangi bir rahatsızlığını işyerinde beyan eden herkes iş kazası geçirmiş gibi değerlendirilmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

1. İş kazası teknik bir kavram, teknik bir olgudur. Gelinen noktada, bu olgunun sosyal sonuçlarının olguyu tayin etmesi gibi bir durumla karşı karşıya kalınmıştır. Çalışanların kaza sonrasındaki özlük hak ve işlemleri teknik tanımlamanın önüne geçmiştir.

2. Mevzuatımızdaki mevcut kaza tanımlarında, çalışanları özre uğratan bir '**olay**'dan söz edilmektedir. İşyerinde meydana gelen birçok sağlık sorununda bu tanımlarda sözü edilen olayın gerçekleşmemiş olduğu kuşkusuzdur. Bu nedenle işyerinde meydana gelen ancak çalışma koşullarıyla nedensellik ilişkisi kurulamayan sağlık sorunlarının iş kazası olarak değerlendirilmesine son verilmelidir.

3. Mevzuatımızda iki ayrı Kanunda iki farklı kaza tanımı bulunmaktadır. 1960'lı yıllardan günümüze gelen 5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanununun 13. Maddesindeki kaza tanımı kaldırılmalıdır.

4. 6331 Sayılı İSG Kanunu tanımı, Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) ve Dünya Sağlık Örgütü (WHO) tanımları doğrultusunda güncellenerek aktif hale getirilmelidir.

KAYNAKLAR

4857 Sayılı İş Kanunu

506 Sayılı Sosyal Sigortalar Kanunu

5510 Sayılı Sosyal Sigortalar ve Genel Sağlık Sigortası Kanunu

Kırbaş Hüseyin, İş Sağlığı ve Güvenliği Mevzuatının Güncel Yaklaşımı İle İş Kazaları ve Meslek Hastalıklarının Hukuksal Boyutları

Yargıtay Hukuk Genel Kurulu Tarih: 13.10.2004 Esas: 2004 / 21-529 Karar: 2004 / 527

EĞİTİM, İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ OTOMASYONU İSGTAKİP

EDUCATION, OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY AUTOMATION ISGTAKIP

M. Okan KAYA,
İKİOSOFT Yazılım, Balıkesir

M. Onur KAYA
Türkiye Kömür İşletmeleri Kurumu, Soma/Manisa

ÖZ: Bu yazıda, Madenlerde Eğitim, İş Sağlığı ve Güvenliği konularında yenilikçi ve farklı çözümler sunan bir yazılım olan İSGTAKİP adlı eğitim, iş sağlığı ve güvenliği otomasyonu yazılımı hakkında bilgi verilmektedir. Maden sektörüne özgü zorlukların aşılabilmesi için farklı çözümler sunan İSGTAKİP geliştirilirken, maden sektöründe İSG uzmanı olarak çalışmış kişiler ile madencilik sektöründe eğitim, iş sağlığı ve güvenliği yöneticiliği yapmış danışmanların görüş ve katkıları baz alınmıştır. Bu nedenle madencilik başta olmak üzere tüm sektörlerde kullanılabilecek bir yazılımdır.

Anahtar Kelimeler: Eğitim, İş Sağlığı, Güvenlik, Otomasyon, Yapay Zekâ

ABSTRACT: *This paper provides information about the training, occupational health and safety automation software called ISGTAKİP, which is a software that offers innovative and different solutions in the fields of Training, Occupational Health and Safety in Mines. While developing ISGTAKİP, which offers different solutions to overcome the difficulties specific to the mining sector, the opinions and contributions of people who worked as OHS experts in the mining sector and consultants who worked as training, occupational health and safety managers in the mining sector were taken as basis. Therefore, it is a software that can be used in all sectors, especially mining.*

Keywords: *Education, Occupational Health And Safety, Automation, Artificial Intelligence.*

1. EĞİTİM, İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ

1.1. İş Sağlığı ve Güvenliğinin Tanımı

Çalışma hayatının en önemli konularının başında iş sağlığı ve güvenliği gelmektedir. İş sağlığı ve güvenliği (İSG); işyerinde işin yürütülmesi sırasında çeşitli nedenlerden kaynaklanan sağlığa zarar verebilecek koşullardan korunmak ve mevcut sağlık ve güvenlik şartlarının iyileştirilmesi için yapılan sistemli ve bilimsel çalışmalardır. 2012 yılında yürürlüğe giren 6331 sayılı kanun ve 40'a yakın yönetmeliğin uygulanma amacı işyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliğini sağlamaktır.

1.2. Ülkemizde Mevcut Durum

Ülkemizde İş Sağlığı ve Güvenliği 2012 yılına kadar herhangi bir mevzuatta tek başına değerlendirilen bir konu değilken, 2012 yılında 6331 Sayılı kanunun çıkmasıyla ayrı bir başlık altında oldukça önemli değerlendirilmeye başlanmış ve önemli bir adım atılmıştır. Söz konusu kanunun çıkmasından çok da uzun bir süre geçmemesine rağmen konunun hayati öneme sahip olması nedeniyle büyük ya da küçük tüm işletmeler, iş sağlığı ve güvenliğini kanun ve yönetmelikleri çerçevesinde uygulamaya çalışmaktadırlar. Ancak iş sağlığı ve güvenliğinin çok boyutlu olması ve farklı birçok iş disiplinini ilgilendirmesi nedeniyle aksayan durumlar meydana gelebilmektedir. Ayrıca iş sağlığı ve güvenliğinin tam manada uygulanması birçok iş disiplininde ayrı ayrı yürütülen çalışmaların birleştirilmesiyle mümkün olacağından, bir noktadaki aksaklık diğerlerini de etkilemektedir. Sonuç olarak günümüzde kendini yetiştirmiş ve işine hâkim İSG profesyonelleri, kendi alanlarında yürüttükleri faaliyetleri ne denli mükemmel işletiyor olsalar da, bir mekanizmanın dişlileri gibi tüm unsurların birlikte hareket etmemesi nedeniyle çalıştıkları işyerlerinde iş sağlığı ve güvenliğini istenen ölçüde sağlayamamaktadırlar. Bu olumsuzlukların üzerine, yönetimin süreci desteklememesi de eklendiğinde iş sağlığı ve

güvenliğini uygulamak zorlaşmaktadır. Bu durumu aşmak için birçok kurumsal firma kendi bünyesinde farklı yazılımlar geliştirmektedir. Ancak bu yazılımlar herhangi bir İSG disiplinini yeterli derecede uyguluyor olsalar da birçok disiplinden oluşan iş sağlığı ve güvenliğinin tamamını birbiriyle tam olarak ilişkilendirememektedirler. Bu nedenle bu yazılımlar genellikle hedeflerden ve profesyonel yaklaşımdan ve fayda maliyet oranları açısından yetersizdir.

1.3. Madencilik Sektöründe Durum

Daha önce bahsedildiği üzere iş sağlığı ve güvenliği çok boyutlu ve farklı disiplinlerin bir araya gelmesiyle oluşmuştur. Bu durum madencilik işkolu için de geçerli bir durumdur. Madencilik günümüzün en tehlikeli ve kaza sıklık ve ağırlık oranlarının yüksek olduğu, birçok iş disiplinini içerisinde barındıran iş kollarından biridir. Bu iki unsurun birleşmesiyle madencilik sektöründe iş sağlığı ve güvenliğinin etkin bir şekilde sağlanmasının ne denli zor olabileceği ortaya çıkmaktadır. Madencilik alanında iş sağlığı ve güvenliğinin sağlanmasını zorlaştıran diğer bir faktör de faaliyet alanının çok geniş olmasıdır. Nitekim kaza sıklık ve ağırlık oranlarının yüksekliği bu durumu destekler niteliktedir. Günümüzde çok daha yetkin İSG profesyonellerinin, yönetim tarafından desteklenmesiyle sektörde büyük kazaların önüne geçilmeye çalışılsa da bu durum daha fazla efor ve maliyet anlamına gelmektedir.

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'ndaki 16. madde Çalışanların Bilgilendirilmesi, 17. madde Çalışanların Eğitimi ve 18. madde Çalışanların Görüşlerinin Alınması ve Katılımlarının Sağlanması başlıklarını taşımaktadır. Bu maddelerde işverenlerin, çalışanları, iş sağlığı ve güvenliği konularında bilgilendirmesi ve eğitmesi konularına değinilmektedir (Yener Aydın, B., ve Doğan, A. 2020). Madencilik, işgücü bakımından birçok iş koluna göre çok daha fazla sayıda personel istihdam etmeyi gerektiren çok tehlikeli bir işkoludur. Dolayısıyla mevzuata göre personelinin önemli bir kısmı her yıl İSG eğitimi,

ilkyardım eğitimi vb. eğitimler almak zorundadır. Bu eğitimlerin verilmesinin yanı sıra evrakların doğru bir şekilde düzenlenmesi, eksiksiz olması ve en önemlisi de eğitimin ispatlanabilir şekilde kaydının tutulması, ileride yaşanabilecek herhangi bir olumsuz durumda sorumluluk tayini açısından son derece önemlidir. Yukarıda bahsedildiği üzere, madencilik gibi üç vardiya yoğun bir şekilde insan gücüne dayalı olarak çalışan bir sektörde, personele eğitim bilgisinin verilmesinden, eğitim evraklarının doğru ve sistemli bir şekilde düzenlenmesine kadar yapılması gereken işler oldukça zor ve dikkat gerektirir. İşveren ise herhangi bir aksaklık yaşamadığı süre boyunca bu durumun farkında olmayabilir. Bu konulardaki güçlüklerin aşılabilmesi adına sektörde excel tabanlı uygulamalar geliştirilerek kullanılmakta ve bazı yazılımsal çözümler uygulanmaktadır.

2. ISO 45001 İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ YÖNETİM SİSTEMİ

2.1. Mevcut Durum

İSG Yönetim Sistemi, 6331 Sayılı Kanun ve 40'a yakın yönetmeliğin yapılmasını zorunlu kıldığı hususların tek tek kendi içerisinde bağlarının kurulması, belli bir düzen içerisinde işletilmesi ve tüm disiplinlerin birbirleri ile entegre şekilde çalışması için uygulanan bir sistemdir. Aslında tüm işletme ve firmalar kanunun zorunlu kıldığı hususları yaparken belli bir sistem dâhilinde işlerini yürütürler. Yapılan faaliyetler, İSG profesyonellerinin yaptıkları iş ve işlemlerin hassasiyeti ve dikkati ile yürütülmekte ve genelde tek başına gayet iyi sonuçlar da verebilmektedir. Ancak bu durum disiplinler arası işleyiş ve işveren-çalışan-İSG profesyonelleri arasında uyumu sağlamakta yetersiz kalabilmektedir. Öte yandan tüm çalışanların mücadelesi ile başarıya ulaşabilecek İSG hizmetleri, sadece bu işi yapan iş güvenliği uzmanı, işyeri hekimi, diğer sağlık personeli ve çalışan temsilcisinin çabaları ile sınırlı kalacağından tam anlamıyla yerine getirilememiş olmaktadır. Bu durum ve

aksaklıklara mahal vermemek için, ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi standardı kabul edilmiş ve 2018 yılında ülkemizde uygulanmaya başlanmıştır. Bu standart, kanunun uygulanmasında firma ve kurumlara yardımcı olmaktadır.

2.2. Madencilikte ISO 45001 İSG Yönetim Sistemi

Endüstrileşmenin başlangıcında ve daha öncesinde madencilik teknolojinin tartışmasız lideri konumundaydı (M.S. Kızıl, G. Kızıl, Ç. Tatar, H. Köse 1995). Buharlı makinaların kullanımı gibi ilk mekanizasyon çalışmaları buna en güzel örnek olarak verilebilir. Günümüzde madencilik sektöründe üretim, havalandırma, nakliye ve güvenlik anlamında son derece modern sistemler kullanılmaktadır. Ancak yıllar içerisinde meydana gelen üzücü olay ve kazalar sektörün imajına büyük zarar vermiş ve özellikle kömür madenciliğinde ön yargıların oluşmasına sebep olmuştur. Bu durumun aşılabilmesi için uygulanan iş sağlığı ve güvenliğinin daha sistematik ve tüm sektörlere öncülük eden uygulamalar ile sürecin işletilmesi gerekmektedir. Elbette duruma sadece imaj iyileştirilmesi gibi basit bir çerçeveden bakılmaması gerekir. Meydana gelen olay ve kazaların, yetişmiş insan gücü kaybına sebebiyet vermesi ve firmaya olan maliyeti göz ardı edilmemelidir.

Madencilik iş kolu birçok iş disiplinini içinde barındırdığından, iş sağlığı ve güvenliği gibi önemli bir konuda evrak bazlı (kaza tutanağı, ramak kala gibi evrakların sahadan ofise aktarılması), gözetim bazlı (geniş sahalarda faaliyetlerini yürütmesi nedeniyle yapılan düzenlemeler sonrası işlerin kontrol edilmesi) ve denetim bazlı bazı dezavantajlara sahiptir. Bu dezavantajların yanına geniş alanlarda insan gücüne dayalı çalışmalar eklendiğinde istenmeyen olayların ve kazaların yaşanması kaçınılmaz hale gelebilmektedir. Bu nedenle ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sisteminin uygulanması son derece gereklidir. Madencilik sektöründe faaliyet yürüten kamu ve özel sektörde 2018

yılında yürürlüğe giren ISO 45001 İSG Yönetim Sistemine akredite olmuş birçok kurum ve kuruluş vardır. Ancak henüz yönetim sisteminin işletilmesini tam anlamıyla yerine getiren işletme sayısı azdır.

Durum değerlendirildiğinde bu denli çok yönlü ve iş sağlığı güvenliğini olumsuz yönde etkileyebilecek hususların ancak bir ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemine dayalı otomasyon ile çözülmesi mümkün olabilir. Ayrıca madencilikte diğer kalite yönetim sistemlerinin uygulanması, aramadan üretime, zenginleştirmeden satışa giden süreçlerin her aşamasında kontrol noktaları olması kişilerden bağımsız sistemin aksamadan yürümesinde büyük katkıları olmuştur (H.A. Güvenç & Ü. Sümer (2019)).

3. İSG TAKİP ISO 45001 İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ YÖNETİM SİSTEMİ OTOMASYONU

3.1. Genel Tanım

Kalite yönetim sistemleri hata ve maliyetleri azaltırken verimliliği ve üretkenliği artırır. Süreçlerin devamlı surette iyileştirilmesine yardımcı olur. Mevzuatın zorunlu kıldığı hususların uygulamasının aksamaması ve ülke genelinde standart olması için ISO (Uluslararası Standardizasyon Kurumu)'nun bazı standartlar kabul edilmiştir. Bu standartlar her süreç için ayrı amaçlarla geliştirilmiştir. Örneğin, ISO 14001 Çevre Yönetim Standardıyken, ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi Standardıdır. Bu ve diğer standartların kullanılması ile süreçleriniz ölçülebilir hale gelir. Ölçülen süreçler ise sürekli iyileştirme fırsatları sunarak firmaların daha verimli hale gelmesini sağlar. Ancak teorik olarak mükemmel derecede faydalı olan bu standartlar, uygulamada birçok zorluğu ve çabayı beraberinde getirmektedir. Örneğin bir süreç için prosedürün tanımlanması, formların oluşturulması ve bunların tüm çalışanlar tarafından benimsenerek prosedüre uygun şekilde kullanımının sağlanması yoğun emek ve çaba sarf etmeyi gerektirmektedir. Tüm çalışanların

oluşturulan prosedürleri bilmesi, belgelere-evraklara-formlara rahat ulaşabilmesi ve sürecin işlemesi ile sonuca ulaşması arasında geçen süre zarfında çaba harcaması gerekmektedir. Örneğin firmada herhangi bir çalışan tarafından ramakkala bildirim yapıldığında, yönetim sistemi uygulamayan firmalarda her çalışan kendince süreci işletmeye çalışacaktır. Kalite Yönetim Sistemlerinden biri olan ISO 45001 İSG Yönetim Sistemi olan firmalarda ise sürecin nasıl işlemesi gerektiği tanımlanmış ve sistem oluşturulmuş olduğundan ramakkala bildirim yapmak isteyen personelin bu sistemi bilmesi ve uygulaması yeterli olacaktır. Ancak geniş bir alanda faaliyetlerini yürüten veya çalışan personel sayısı fazla olan firmalarda bu süreçleri işletmek zor olabilir. Ayrıca başta ISO 45001 İSG Yönetim Sistemi olmak üzere, tüm kalite yönetim sistemlerini işletmek için iyi yetişmiş profesyonellere ihtiyaç vardır.

3.2. İSGTAKİP Yazılımının Genel Özellikleri

Başta ISO 45001 İSG Yönetim Sistemi olmak üzere tüm kalite yönetim sistemlerinin bir firma için ne denli gerekli ve kullanışlı olduğu konusu açıktır. Kalite yönetim sistemleri, firmanıza ekonomik anlamda, prestij anlamında, üretim devamlılığı anlamında, çalışan ve müşteri memnuniyeti anlamında çok büyük katkılarda bulunur. Ancak daha önce bahsedildiği üzere kalite yönetim sistemlerinin uygulanması, geliştirilmesi, sürekliliğinin sağlanması ve tüm çalışanların katılımının sağlanması oldukça zordur. İSGTAKİP Yazılımı, bahsedilen bu zorlukları yaşamadan firmaların başta ISO 45001 İSG Yönetim sistemi olmak üzere tüm kalite yönetim sistemlerini uygulanmasına yardımcı olmak amacıyla geliştirilmiş web tabanlı bir yazılımdır.

İSGTAKİP bilgisayar, tablet ve telefonda kurulum yapmayı gerektirmeyen, basit bir ara yüze sahip bulut tabanlı bir yazılımdır (Şekil 1). İSGTAKİP ISO 45001'e uygun İş Sağlığı ve Güvenliği Sistemini kurmaya, var olan sistemleri işletmeye yardımcı olur ve kayıt tutmanın yanında verilerin sanal

asistan ile değerlendirilmesini sağlar. İSGTAKİP yenilikçi çözümleri ile iş kazalarınızın azaltılmasına ve önlenmesine yardımcı olur.

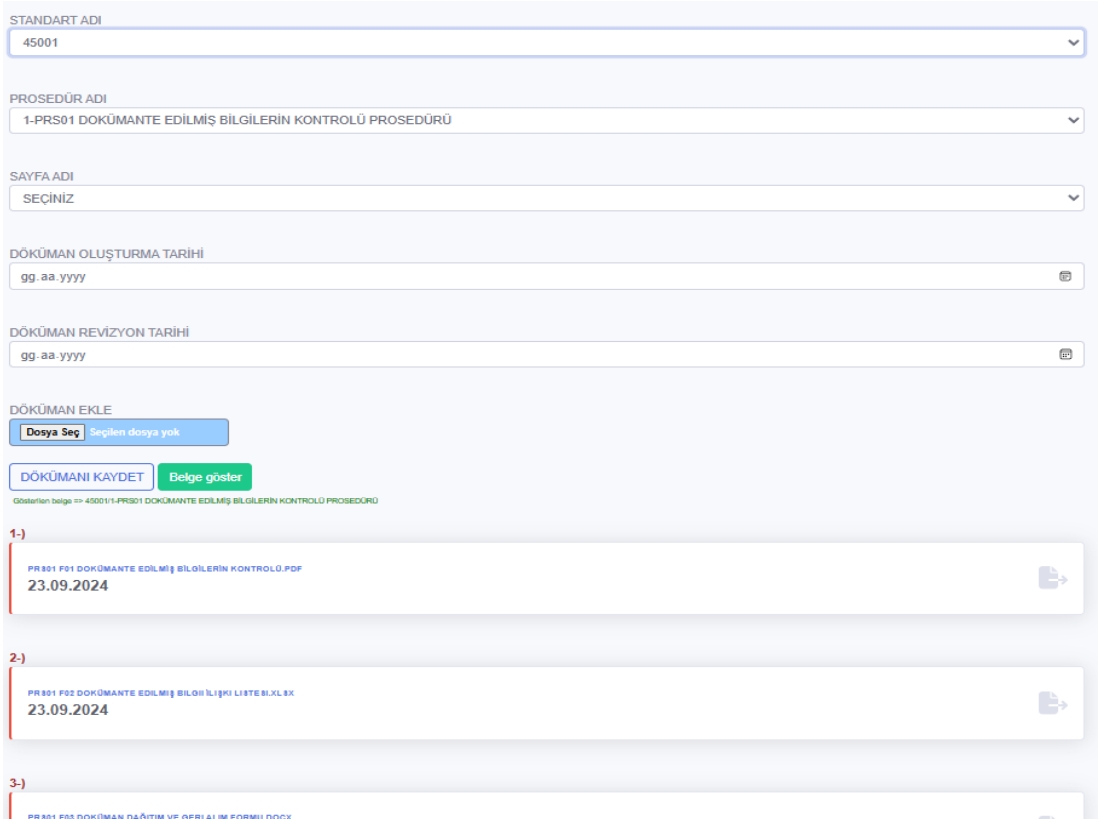
Şekil 1. İSGTAKİP Yazılımın Arayüzü

İSGTAKİP otomasyon sistemi, Yönetim, İSG, Sağlık, Eğitim, Acil Durum, Duyuru ve QR modüllerinden oluşmaktadır. Kullanıcı sınırı olmayan İSGTAKİP yazılımında, yetki tanımlamaları ile hangi personelin hangi menü ve bilgilere ulaşabileceği firma tarafından belirlenebilmektedir.

Firmanızın birimlerini, unvanlarını, makine ve ekipmanlarını İSGTAKİP'e tanımladıktan sonra yazılıma personel kaydını yaparsınız. Personelinize yetki tanımlaması yaptıktan sora tüm çalışanlarınız İş Sağlığı ve Güvenliği sistemine dâhil edilmiş olur. İş sağlığı ve güvenliği sisteminin işletilerek kaza sıklık ve ağırlık oranlarının düşürülmesi ancak tüm çalışanların bu sisteme dâhil olmasıyla başarıya ulaşır.

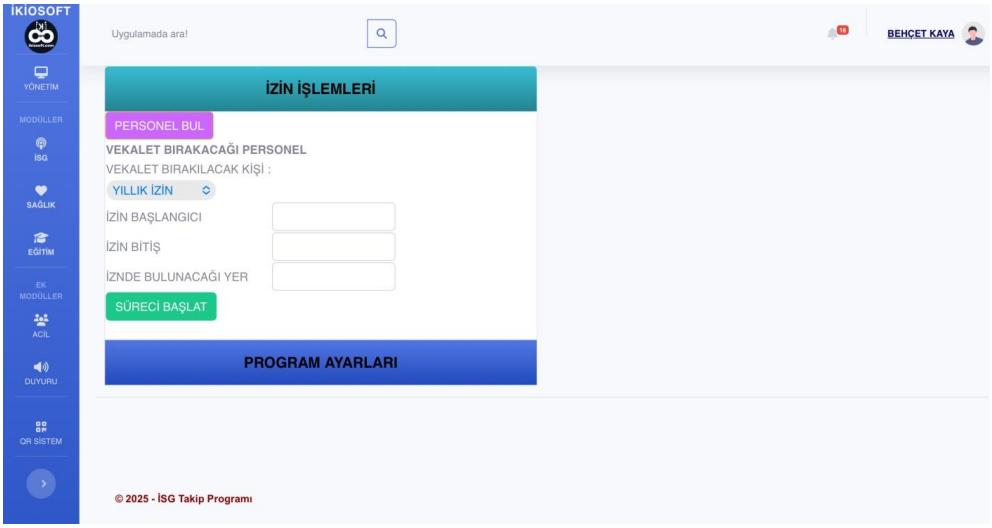
İSGTAKİP, kalite yönetim sistemlerinin dokümantasyonunu hazırlamanıza, yazılıma yükleminize, yazılım üzerinden paylaşmanıza, imza ve

onay süreçleri sonrası firma içerisinde yayımlamanıza olanak tanır. Prosedürlerinizin yazılım içerisinde işletilmesini sağlar (Şekil 2).



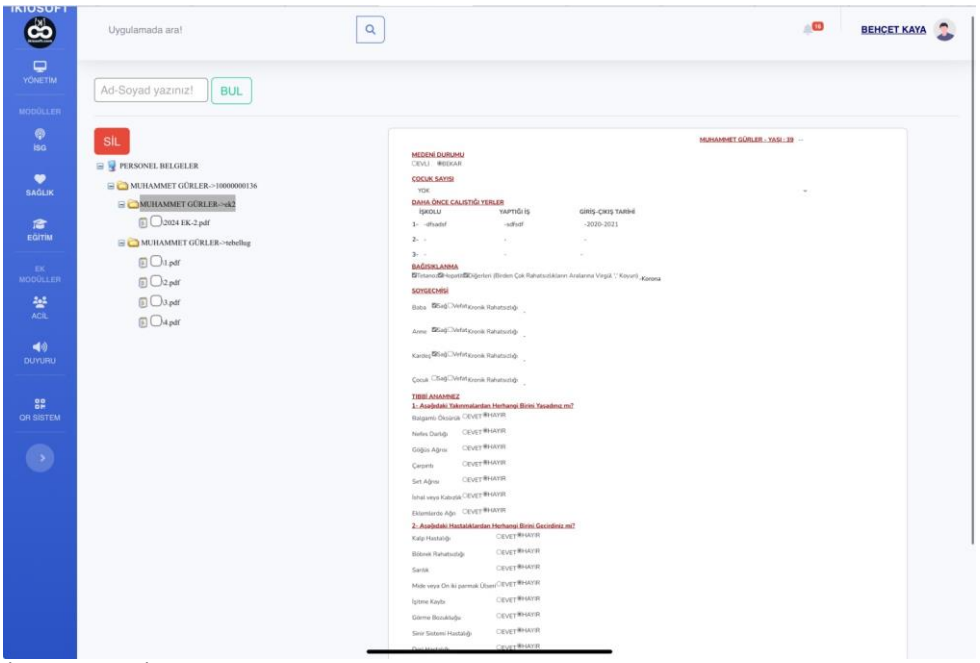
Şekil 2. İSGTAKİP K.Y.S. Doküman Yönetimi

İSGTAKİP yazılımının diğer bir genel özelliği ise izin yönetim sistemidir. Yazılım sayesinde personeliniz vekâlet işlemlerini yapar. Bu şekilde İş Sağlığı ve Güvenliği süreci aksamadan yürütülebilir (Şekil 3).



Şekil 3. İSGTAKİP İzin Yönetimi

Firma tarafından çalışanları hakkında tutulan tüm evraklar İSGTAKİP yazılımına yüklenebilir. Böylece evraklar dijital olarak arşivlenebilir olduğundan ihtiyaç halinde kolaylıkla ulaşılabilir (Şekil 4).



Şekil 4. İSGTAKİP Evrak Arşiv Sistemi

3.3. İSGTAKİP Yazılımının Teknik Özellikleri

İSGTAKİP, güncel mevzuatın gereklerinin yerine getirilmesini sağlar ve ISO 45001 İSG Yönetim Sistemine uygun çıktılar verir. Uygulanan İSG Prosedürlerinin yazılım üzerinden uygulanmasını sağlar.

Uygulanabilecek prosedürler;

1- Risk Analizi Prosedürü
2- Düzeltici Faaliyet Prosedürü
3- İSG Kurul, Yönetimin Gözden Geçirme vb. Toplantı Prosedürü
4- Kaza Bildirimi, Raporlama, İstatistik Girişi Prosedürü
5- Kişisel Koruyucu Donanım Kaydı, Hatırlatma ve İstatistikleri Prosedürü
6- Ortam Ölçüm Talebi, Veri Girişi, Yetki Verme, Veri Görüntüleme ve İstatistikleri Prosedürü
7- Saha Raporu Oluşturma, Görüntüleme, Gereğinin Yapılması ve İstatistikleri Prosedürü
8- Ramakkala Bildirimi Yapma, Görüntüleme, Gereğinin Yapılması ve İstatistikleri Prosedürü
9- Eğitim Planlama, Düzenleme, Uygulama, Sınav Yapma ve İstatistikleri Prosedürü
10- Periyodik Muayene, Sevk İşlemleri, Ek-2 Kaydı ve İstatistikleri Prosedürü
11- Acil Durum Eylem Planları, Acil Durum Ekipleri Prosedürü
12- Duyuru Sistemi Prosedürü
13- QR Sistem İşlemleri Prosedürü

Sistem bunlarla birlikte daha birçok işlemi yürüterek ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemine uygun çıktılar verir (Şekil 5).

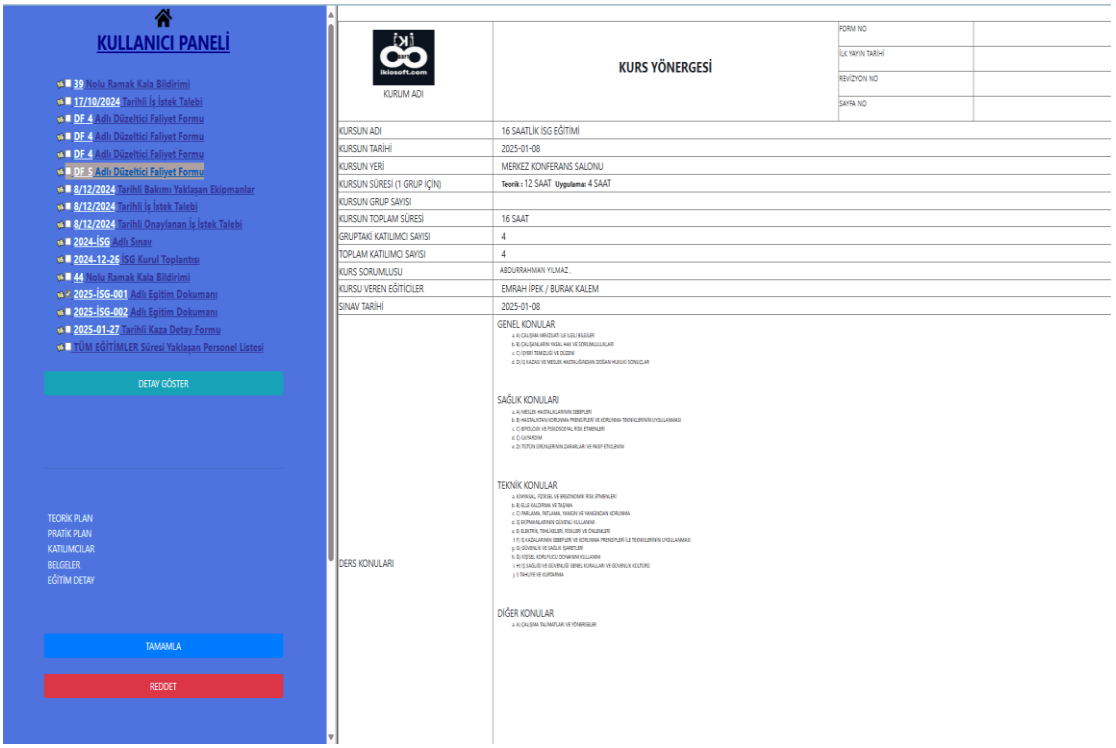
İKİOSOFT	KURS YÖNERGESİ	FORM NO	Frm-001
		İLK YAYIN TARİHİ	05/01/2025
		REVİZYON NO	-
		SAYFA NO	-

KURSUN ADI	16 SAATLİK İSG EĞİTİMİ
KURSUN TARİHİ	2025-01-08
KURSUN YERİ	MERKEZ KONFERANS SALONU
KURSUN SÜRESİ (1 GRUP İÇİN)	**Teorik :** 12 SAAT **Uygulama:** 4 SAAT
KURSUN GRUP SAYISI	
KURSUN TOPLAM SÜRESİ	16 SAAT
GRUPTAKİ KATILIMCI SAYISI	4
TOPLAM KATILIMCI SAYISI	4
KURS SORUMLUSU	ABDURRAHMAN YILMAZ ,
KURSU VEREN EĞİTİCİLER	EMRAH İPEK / BURAK KALEM
SINAV TARİHİ	2025-01-08
DERS KONULARI	GENEL KONULAR a. A) ÇALIŞMA MEVZUATI İLE İLGİLİ BİLGİLER b. B) ÇALIŞANLARIN YASAL HAK VE SORUMLULUKLARI c. C) İŞYERİ TEMİZLİĞİ VE DÜZENİ d. D) İŞ KAZASI VE MESLEK HASTALIĞINDAN DOĞAN HUKUKİ SONUÇLAR SAĞLIK KONULARI a. A) MESLEK HASTALIKLARININ SEBEPLERİ b. B) HASTALIKTAN KORUNMA PRENSİPLERİ VE KORUNMA TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI c. C) BİYOLOJİK VE PSİKOSOSYAL RİSK ETMENLERİ d. Ç) İLKYARDIM e. D) TÜTÜN ÜRÜNLERİNİN ZARARLARI VE PASİF ETKİLENİM TEKNİK KONULAR a. KİMYASAL, FİZİKSEL VE ERGONOMİK RİSK ETMENLERİ b. B) ELLE KALDIRMA VE TAŞIMA c. C) PARLAMA, PATLAMA, YANGIN VE YANGINDAN KORUNMA d. İŞ EKİPMANLARININ GÜVENLİ KULLANIMI e. E) ELEKTRİK, TEHLİKELERİ, RİSKLERİ VE ÖNLEMLERİ f. F) İŞ KAZALARININ SEBEPLERİ VE KORUNMA PRENSİPLERİ İLE TEKNİKLERİNİN UYGULANMASI g. G) GÜVENLİK VE SAĞLIK İŞARETLERİ h. Ğ) KİŞİSEL KORUYUCU DONANIM KULLANIM i. H) İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ GENEL KURALLARI VE GÜVENLİK KÜLTÜRÜ j. I) TAHLİYE VE KURTARMA DİĞER KONULAR a. A) ÇALIŞMA TALİMATLARI VE YÖNERGELER

Şekil 5. İSGTAKİP Eğitim Kurs Yönergesi Çıktısı

İSGTAKİP basit bir veri kayıt yazılımı değildir. Yapay zekâ destekli bir otomasyondur. Aynı zamanda evrakların hazırlanabileceği bir sistemdir. Bu kompakt yapısı sayesinde sadece mevzuatın gereklerinin yerine getirilmesiyle yetinilmeyerek, yazılım içerisindeki modüller sayesinde, saha uygulamaları evrak bütünlüğü içerisinde yapılabilir. Evrak ve uygulamalar için ayrı zaman harcanmasına gerek kalmaz.

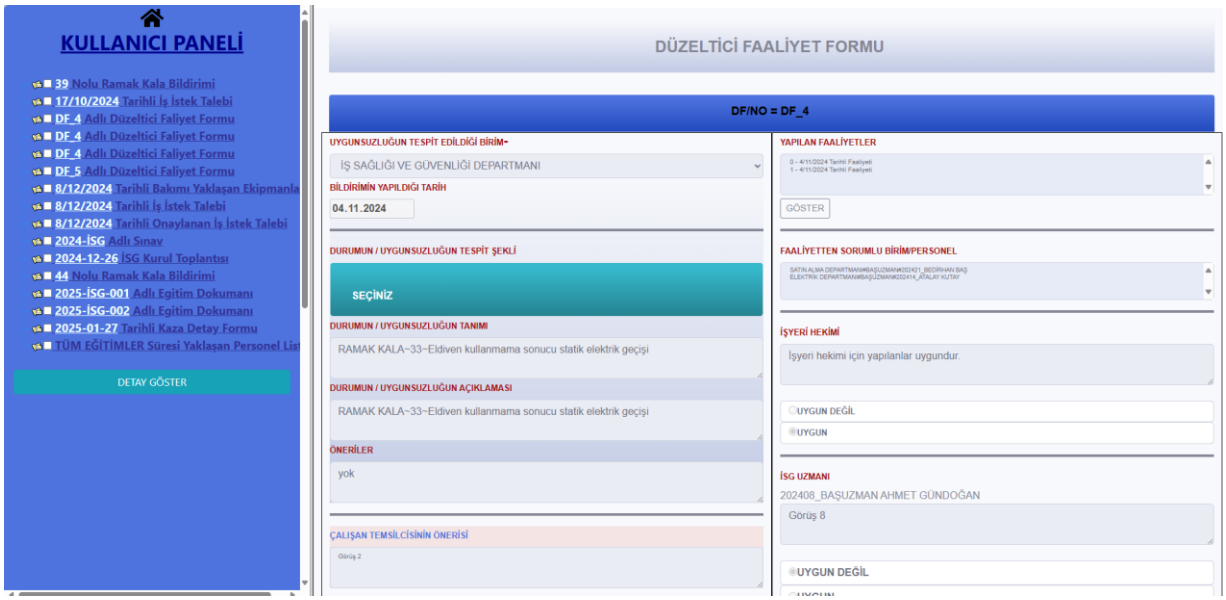
İSGTAKİP yazılımının içerisinde doküman hazırlanmasını, bildirim alınmasını, bildirim gönderilmesini, imza ve onay süreçlerinin yürütülmesini sağlaya bir modül bulunmaktadır (Şekil 6).



Şekil 6. İSGTAKİP Bildirim Modülü

Bildirim modülü ile yazılım içerisinde oluşturulan tüm dokümantasyon takip edilebilir, imza ve onay süreçleri yürütülebilir. Örneğin 9001-50001 gibi yönetim sistemleri için hazırlamış olduğunuz prosedür ve formların imza ve onay süreçlerini yürütebilirsiniz. İSGTAKİP yazılımı içinde bulunan Düzeltici Faaliyet Modülü ile personel, görevine uygun şekilde düzeltici faaliyet formunu doldurulabilir, yapılan faaliyetler görüntülenebilir ve süreç başından sonuna kadar takip edebilir.

İSGTAKİP eğitim zamanı gelmiş personel, kapatılma zamanı yaklaşmış düzeltici faaliyet, bakımı yaklaşmış makine-ekipman ve daha birçok husus hakkında bildirimde bulunur (Şekil 7).



Şekil 7. İSGTAKİP Düzeltici Faaliyet

4. SONUÇ

Madencilik, hammadde ve enerji sağlayan, birçok iş disiplinini bünyesinde barındıran ve geniş çalışma alanlarında faaliyetlerini yürüten bir işkoludur. Bu denli zor şartlarda, üretim verimi ile sürekliliğini sağlamak ve aynı zamanda kazaları engellemek diğer iş kollarında olduğu kadar kolay olmayabilir. Madencilikte iş sağlığı ve güvenliğini tam anlamıyla sağlayabilmek için yetişmiş insan gücünün korunması, sektörel bazda zorlukların aşılması ve madenciliğe özgü iş sağlığı ve güvenliği proses ve prosedürlerinin uygulanması faydalı olmaktadır. Bu yazıda, özellikle madencilik alanında iş sağlığı ve güvenliğini arttırmaya, tüm çalışanların iş sağlığı ve güvenliğine katılımlarını sağlamaya yardımcı olacak bir yazılım hakkında bilgi verilmektedir. Kullanıcı sınırı olmayan, sahada bilgi beceri gerektirmeden pratik şekilde işlemleri yapan bir yazılım olan İSGTAKİP, saha ile ofis arasında bir köprü vazifesi görür. Kazaları engelleme konusunda faydalı olduğu kadar, mevzuat anlamında da tüm çalışanları korur. Evrak yükünü azaltır ve İSG profesyonellerinin daha çok saha gözetimi yapmalarına olanak sağlar. İş sağlığı ve güvenliği ile alakalı tüm istatistikleri yapay zekâ sayesinde uyarıcı olarak çalışanlarla paylaşır.

İSGTAKİP belirlenen ölçütlere (periyot, eğitimi alacak personel kriterleri vb.) göre personelin zorunlu İSG eğitimi, ilkyardım vb. gibi eğitimlerini takip eder. Eğitim alması gereken personeli, yapay zekâ sayesinde ilgili personelinize bildirir ve eğitimlerin aksamadan yürütülmesine imkân tanır. Eğitim dokümanlarını (yönerge, belge vb.) hazırlar, eğitim sınavının ister dijital ister kâğıt ortamında yapılmasına olanak tanır. Eğitim evraklarını imzalı olarak arşivler. İstendiği zaman program içerisinde arama yaparak personelin eğitim evraklarına ulaşabilmeyi sağlar. Eğitim maliyet ve istatistiklerini sunar.

İSGTAKİP yapay zekâ destekli otomasyon yazılımı madencilik gibi çalışan sayısının fazla olduğu bir iş ortamında, çalışan kaynaklı örneğin;

1- Dikkatsizlik (çalışanların tehlikelere karşı duyarsız olması)
2- Acelecilik (kısa yoldan tamamlama düşüncesi ile prosedür ve proseslerin göz ardı edilmesi)
3- Zayıf iletişim (verilen ve alınan talimatların yeteri kadar anlaşılamaması)
4- Yetkinlik(yetkisi olmadığı halde bir işi yapmaya çalışmak)
5- İşe uygun olmamak (alkollü, hasta, yorgun, uykusuz işe gelen personelin bu yazılım ile kolayca bildirilmesi)
6- Ekipman, cihaz veya makine kaynaklı problemler
7- Çalışma ortamı ve eklentileri kaynaklı problemler

gibi tehlikeler nedeniyle kazaların meydana gelmesini engellemeye yönelik bir çok modül içermektedir. İSGTAKİP proaktif yaklaşım ile iş sağlığı ve güvenliği faaliyetlerinin yürütülmesine yardımcı olur.

KAYNAKLAR

6331 Sayılı Kanun 2012, https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuatmetin/1.5.6331.pdf

Halil Arda Güvenç & Ümit Sümer (2019), Uluslararası Standartların Madencilik

M.S. Kızıl, G. Kızıl, Ç. Tatar, H. Köse (1995). Madencilikte İleri Teknolojinin Kullanımı. https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/375776 Madencilik Türkiye Dergisi

Yener Aydın, B., & Doğan, A. (2020). İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ EĞİTİMLERİNE YÖNELİK ÇALIŞAN ALGILARININ BELİRLENMESİ. Beykoz Akademi Dergisi, 8(2), 1-19.

YERALTI MADENCİLİĞİNDE REBA VE RULA YÖNTEMİYLE ERGONOMİK RİSK ANALİZİ

ERGONOMIC RISK ANALYSIS IN UNDERGROUND MINING USING THE REBA AND RULA METHODS

Özlem Aksu, Yağmur Keskin, Fethiye Özdemir, Sena Has, Pınar Mızrak Özfırat
Manisa Celal Bayar Üniversitesi, Endüstri Mühendisliği Bölümü, Manisa

ÖZET: Madencilik sektörü, iş güvenliği ve ergonomi açısından yüksek risk içeren bir çalışma alanıdır. Özellikle yeraltı kömür madenciliği, çalışanların fiziksel ve psikolojik sağlığını tehdit eden birçok faktör barındırmaktadır. Bu çalışma, madencilik sektöründeki ergonomik ve iş güvenliği sorunlarını analiz ederek, iyileştirme stratejileri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Çalışma kapsamında, REBA ve RULA yöntemleri kullanılarak çalışanların duruş ve hareketleri analiz edilmiştir. Ayrıca, OpenCV tabanlı bir sistem geliştirilerek çalışanların hareketleri gerçek zamanlı olarak izlenmiş ve riskli pozisyonlar tespit edilmiştir. Risk analizi sonuçlarına dayanarak, ayarlanabilir çalışma platformları, mekanizasyon sistemleri, ergonomik ekipman kullanımı, titreşim ve gürültü kontrolü gibi iyileştirme önerileri sunulmuştur. Ayrıca madencilik sektöründe işçi sağlığı ve güvenliği standartlarını iyileştirmeyi ve teknolojik çözümlerle ergonomik riskleri minimize etmeyi hedeflemektedir. Yapılan analizler ve öneriler, çalışanların güvenliğini artırarak iş verimliliğinin optimize edilmesine katkı sağlayacaktır.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı madenciliği, Ergonomi, İş güvenliği, REBA, RULA.

ABSTRACT: *The mining sector is a high-risk working environment concerning occupational safety and ergonomics, particularly in underground coal mining, which poses numerous threats to the physical and psychological health of workers. This study aims to analyze ergonomic and occupational safety issues in the mining sector and develop improvement strategies. Within the scope of this study, workers' postures and movements were analyzed using the REBA and RULA methods. Additionally, a real-time motion tracking system based on OpenCV was developed to monitor workers' movements and identify risky positions. Based on the results of risk analysis, improvement recommendations have been proposed, including adjustable work platforms, mechanization systems, ergonomic equipment usage, and vibration and noise control. Furthermore, the study aims to enhance worker health and safety standards in the mining sector and minimize ergonomic risks through technological solutions. The analyses and recommendations made will contribute to enhancing worker safety and optimizing work efficiency.*

Keywords: *Underground mining, Ergonomics, Work safety, REBA, RULA.*

1. GİRİŞ

Madencilik sektörü, dünya genelinde ekonomik kalkınmanın temel taşlarından biri olmasına rağmen, özellikle yeraltı madenciliğinde çalışanlar için ciddi sağlık ve güvenlik riskleri barındırmaktadır. Yapılan araştırmalar, madencilerin uzun süreli fiziksel zorlanmaya maruz kaldığını ve ergonomik koşulların yetersizliğinin kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına yol açtığını göstermektedir. Bu çalışmalara örnek olarak Patel, Gupta ve Singh (2020) ve Zhou ve Pan (2019) verilebilir. Patel vd. (2020) yeraltı madencilerinin çalışma pozisyonlarının bel ve omurga sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini incelemiş ve bu meslek grubunda kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının yaygın olduğunu ortaya koymuştur. Benzer şekilde, Zhou ve Pan (2019), madencilerin uzun süre eğilerek veya çömelerek çalışmasının diz ve bel ağrılarına yol açtığını vurgulamış, bu tür postürel zorlanmaların mesleki deformitelere neden olabileceğini belirtmiştir. Ergonomik düzenlemelerin eksikliği ve koruyucu ekipman kullanımındaki aksaklıklar da çalışanların güvenliğini doğrudan etkileyen faktörler arasında yer almaktadır.

Bu çalışma, madencilik sektöründe karşılaşılan ergonomik ve iş güvenliği sorunlarını kapsamlı bir şekilde analiz ederek, bu sorunlara yönelik iyileştirme stratejileri geliştirmeyi amaçlamaktadır. Ayrıca, Chen ve Wang (2022), yapay zekâ tabanlı teknolojik çözümlerin madenlerde güvenliği artırmadaki rolünü ele alarak, akıllı izleme sistemleri ve otomasyon teknolojilerinin iş kazalarını önlemedeki potansiyelini ortaya koymuştur. Bu bağlamda, çalışmamız, hem çalışan sağlığını koruyacak hem de iş verimliliğini optimize edecek sürdürülebilir çözümler sunmayı hedeflemektedir.

Çalışmanın ilk aşamasında yeraltı madenciliğinde görev alan operatörlerin çeşitli duruşları incelenmiştir. Bu duruşların ergonomik açıdan risk analizin yapabilmek için tüm vücut duruşunu dikkate alan REBA ve üst gövde duruşunu

dikkate alan RULA yöntemleri kullanılmıştır. Ardından, bu analizlerde insan hatasını azaltabilmek için Python dili kullanılarak verilen iş duruş pozisyonunun REBA (Rapid Entire Body Assesment) ve RULA (Rapid Upper Limb Assesment) skorlarını hesaplayan yazılım kodu hazırlanmıştır. Hazırlanan yazılım kodu çeşitli duruşlar için denenmiş ve riskli bulunan duruşlar için iyileştirme önerileri sunulmuştur.

2. ERGONOMİK RİSK FAKTÖRLERİ VE ANALİZİ

Madencilik sektöründe çalışanlar, özellikle kazı, tahkimat, nakliyat ve kömür hazırlama gibi süreçlerde tekrarlayan hareketler, ağır yük kaldırma, ergonomik olmayan duruş pozisyonları ve titreşim gibi ergonomik risk faktörlerine maruz kalmaktadır. Bu faktörler, kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları (KİSR) başta olmak üzere çeşitli sağlık sorunlarına yol açabilmektedir. Bu bölümde, ergonomik risklerin analizi ve bu risklerin çalışanlar üzerindeki etkileri REBA ve RULA yöntemleri kullanılarak detaylı şekilde incelenmiştir.

2.1. REBA Analizi

Ergonomik risklerin değerlendirilmesinde, REBA ve RULA gibi bilimsel yöntemler kullanılmıştır. Bu yöntemler, çalışanların vücut pozisyonlarının risk seviyelerini belirlemekte ve ergonomik iyileştirmeler için temel oluşturmaktadır.

Çalışanların tüm vücut hareketlerini değerlendirir. Özellikle bel, boyun, bacak ve kolların duruş pozisyonları, eğilme, dönme ve güç uygulama gibi hareketler esnasında kas-iskelet sisteminin maruz kalabileceği ergonomik riskler üzerinde durur. REBA skoru, risk seviyesini belirler ve bu skora göre acil önlemler alınması gerekip gerekmediği tespit edilir. REBA skoru belirlenirken Çizelge 1’deki puanlama kullanılmaktadır.

Çizelge 1. RULA Puanlama Kriterleri (McAtamney ve Corlett 1993'e göre hazırlanmıştır.)

Vücut Bölgesi	Açı Aralığı	Puan	Açıklama
Üst Kol	0° - 20°	1	Düşük risk. Kol, vücuda yakın, rahat pozisyonda.
	20° ve üzeri	2	Yüksek risk. Kol, vücuttan uzaklaşmış/ zorlanmış
Alt Kol	0° - 90°	1	Düşük risk. Kol, rahat açıda.
	90° ve üzeri	2	Yüksek riskli duruş. Kol, aşırı bükülmüş veya
Bilek	0° - 15°	1	Düşük riskli duruş. Bilek, nötr pozisyonda.
	15° ve üzeri	2	Yüksek riskli duruş. Bilek, bükülmüş veya
Boyun	0° - 20°	1	Düşük riskli duruş. Boyun, nötr pozisyonda.
	20° ve üzeri	2	Yüksek riskli duruş. Boyun, öne veya yana eğilmiş
Gövde	0° - 20°	1	Düşük riskli duruş. Gövde, dik ve rahat bir
	20° ve üzeri	3	Yüksek riskli duruş. Gövde, öne eğilmiş veya

Çizelge 1'e göre hesaplanan REBA skoru, aşağıdaki şekilde sınıflandırılır (McAtamney ve Corlett 1993):

- 1-2 Puan (Düşük Risk): "Kabul Edilebilir Duruş"
  Çalışanın duruşu ve hareketleri ergonomik açıdan kabul edilebilir düzeydedir. Herhangi bir acil önlem gerektirmez.
- 3-4 Puan (Orta Risk): "Daha Fazla İnceleme Gerekli"
  Çalışanın duruşu veya hareketleri potansiyel risk taşımaktadır. Çalışan, duruşunu düzeltmesi veya pozisyon değiştirmesi konusunda uyarılır.
- 5-7 Puan (Yüksek Risk): "İnceleme ve Yakında Değişiklik Gerekli"
  Çalışanın duruşu veya hareketleri ciddi ergonomik riskler taşımaktadır. Acil önlem alınması gerekmektedir. Sistem, çalışanı ve ilgili yöneticileri anında uyarır.
- 8-10 Puan (Çok Yüksek Risk): "İnceleme ve Değişiklik Uygula"

Çalışanın duruşu veya hareketleri çok ciddi ergonomik riskler taşımaktadır. Derhal müdahale edilmesi ve çalışma koşullarının iyileştirilmesi gerekmektedir.

2.2. RULA Analizi

Özellikle üst uzuvların (kollar, bilekler, boyun) hareketlerini değerlendirir. Tekrarlayan hareketler, kötü duruş ve ağır yük kaldırma gibi faktörlerin üst uzuvlarda yarattığı stresi ölçer. RULA skoru, çalışanların üst uzuvlarında oluşabilecek zorlanmaların sayısal olarak ifade edilmesine yardımcı olur. RULA skoru belirlenirken Çizelge 2'deki puanlama kullanılmaktadır.

Çizelge 2. RUBA Puanlama Kriterleri (Hignett ve McAtamney 2000'e göre hazırlanmıştır.)

Vücut Bölgesi	Açı Aralığı	Puan	Açıklama
Boyun	0° - 20°		Düşük riskli duruş. Boyun nötr pozisyonda.
	20° ve		Yüksek riskli duruş. Boyun öne veya yana
Gövde	0° - 20°		Düşük riskli duruş. Gövde dik ve rahat bir
	20° ve		Yüksek riskli duruş. Gövde öne
Diz	0° - 20°		Düşük riskli duruş. Diz nötr pozisyonda.
	20° ve		Yüksek riskli duruş. Diz bükülmüş veya

Çizelge 2'ye göre hesaplanan RULA skoru, aşağıdaki şekilde sınıflandırılır (Hignett ve McAtamney 2000):

- 1-2 Puan (Düşük Risk): "Kabul Edilebilir Duruş" Çalışanın üst uzuvlarının duruşu ve hareketleri ergonomik açıdan kabul edilebilir düzeydedir. Herhangi bir acil önlem gerektirmez.
- 3-4 Puan (Orta Risk): "Daha Fazla İnceleme Gerekli" Çalışanın üst uzuvlarının duruşu veya hareketleri potansiyel risk taşımaktadır. Çalışan, duruşunu düzeltmesi veya pozisyon değiştirmesi konusunda uyarılır.
- 5-6 Puan (Yüksek Risk): "İnceleme ve Yakında Değişiklik Gerekli"

Çalışanın üst uzuvlarının duruşu veya hareketleri ciddi ergonomik riskler taşımaktadır. Acil önlem alınması gerekmektedir. Sistem, çalışanı ve ilgili yöneticileri anında uyarır.

- 7+ Puan (Çok Yüksek Risk): "İnceleme ve Değişiklik Uygula" Çalışanın üst uzuvlarının duruşu veya hareketleri çok ciddi ergonomik riskler taşımaktadır. Derhal müdahale edilmesi ve çalışma koşullarının iyileştirilmesi gerekmektedir.

3. GERÇEK ZAMANLI PYTHON İLE HAREKET ANALİZİ VE RİSK TAHMİNİ

Madencilik sektöründe çalışanların güvenliğini artırmak ve ergonomik riskleri minimize etmek amacıyla, OpenCV kütüphanesi kullanılarak bir Python kodu geliştirilmiştir. Bu kod, çalışanların duruşlarını ve hareketlerini gerçek zamanlı olarak izleyerek, riskli pozisyonları tespit etmekte ve anında uyarılar göndermektedir. Özellikle yeraltı madenlerinde, bu tür teknolojik çözümler, çalışanların güvenliğini artırmak ve ergonomik riskleri azaltmak için büyük bir potansiyele sahiptir.

3.1. Sistemin İşleyişi

Çalışanların ergonomik risklerini değerlendirmek amacıyla geliştirilen sistem, hareketleri sürekli olarak analiz eder ve risk seviyelerini belirlemek için REBA ile RULA yöntemlerini kullanır. Bu yöntemler, vücut pozisyonlarını sayısal olarak değerlendirerek risk seviyelerini sınıflandırır ve olası ergonomik tehlikeleri tespit eder.

Sistemin çalışma prensibi, görsel veri analizi ve ergonomik risk değerlendirme süreçlerine dayanmaktadır. İlk olarak, sistem girdi olarak alınan fotoğrafı işleyerek vücut pozisyonlarını belirler ve ilgili eklem noktalarını tespit eder. Ardından, boyun, gövde ve diz açıları hesaplanarak her bir açı için belirlenen

puanlama sistemi doğrultusunda REBA ve RULA skorlarını oluşturulur. Bu skorlar, vücut duruşunun ergonomik risk seviyesini belirlemede temel bir kriter olarak kullanılır.

Analiz sürecinin sonunda, elde edilen veriler görsel ve sayısal olarak sunulmaktadır. Fotoğraf üzerinde eklem noktaları ve bağlantılar işaretlenerek hesaplanan açılar, puanlar ve belirlenen risk seviyesi görselleştirilir. Böylece, kullanıcılar çalışma pozisyonlarını daha iyi analiz edebilir ve potansiyel riskleri bilimsel bir temele dayandırarak değerlendirme imkânı bulur.

3.2. Risk Tahmini ve Uyarı Mekanizması

Çalışanların hareketlerine dayalı risk tahminleri, REBA ve RULA analizleri kullanılarak yapılmaktadır. Bu analizler, çalışanların fiziksel yüklerini ve hareketlerini değerlendirerek, ergonomik risk seviyelerini belirlemeye yönelik önemli araçlardır. RULA analizi, özellikle üst ekstremitelerin hareketlerini değerlendirir ve benzer şekilde risk seviyelerini sınıflandırmak için puanlama yapar. Çizelge 1'de ise, RULA değerlerindeki alt limit ve üst limitlere göre hangi puanların verilmesi gerektiği gösterilmektedir. REBA analizi, çalışanların bedenlerinin farklı bölgelerindeki pozisyonları ve hareketleri göz önünde bulundurularak, risk seviyelerini belirlemek için bir puanlama sistemi kullanır. Çizelge 2'de, REBA değerlerindeki alt limit ve üst limitlere göre hangi puanların verileceği belirtilmektedir. Bu değerler, risk seviyelerinin daha doğru bir şekilde belirlenmesine yardımcı olur. Öte yandan, Bu analizlerin her ikisi de, ergonomik risklerin değerlendirilmesinde önemli bir rol oynar ve işyerindeki sağlık ve güvenliği iyileştirmeyi hedefler.

3.3. Uzun Vadeli Ergonomik Risklerin Önlenmesi

Geliştirilen sistem, yalnızca anlık riskleri tespit etmekle kalmaz, aynı zamanda uzun vadeli ergonomik risklerin önlenmesine de yardımcı olur. Örneğin,

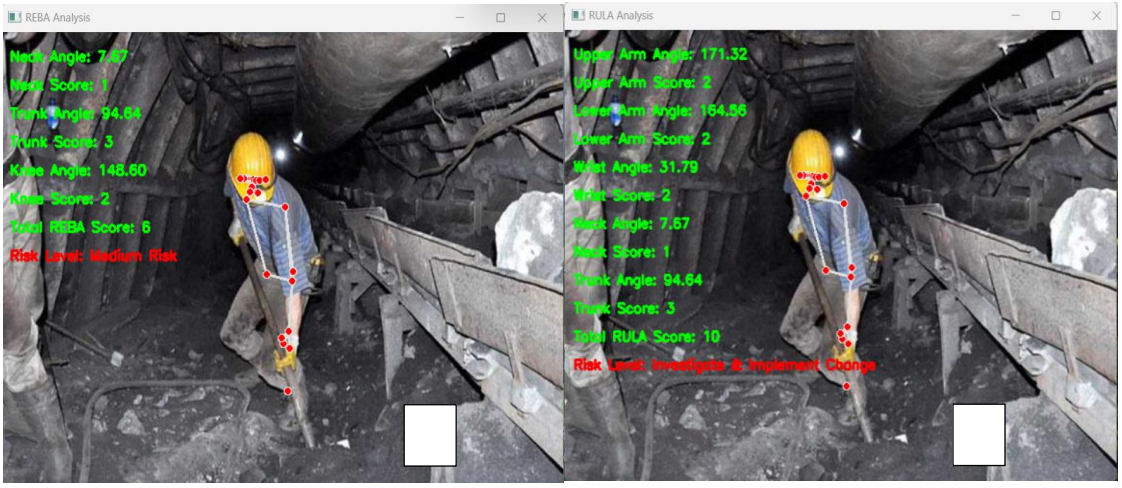
çalışanların belirli bir süre boyunca tekrarlayan hareketler yapması durumunda, sistem bu hareketlerin uzun vadede kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına yol açabileceğini tahmin eder ve önleyici önlemler alınmasını sağlar.

4. ERGONOMİK RİSK ANALİZİ VE İYİLEŞTİRME ÖNERİLERİ

Ergonomik risk analizleri sonucunda, çalışanların sağlığını korumak ve iş verimliliğini artırmak için aşağıdaki iyileştirme önerileri sunulmaktadır. Bu bölümde, ergonomik risklerle birlikte madencilik süreçlerinde karşılaşılan spesifik riskler ve bu risklere yönelik iyileştirme önerileri detaylı bir şekilde ele alınmıştır.

4.1. Yeraltı Madenciliğinde Çalışma Duruşunun Python Tabanlı Ergonomik Risk Analizi

Geliştirilen yöntem yeraltı kömür madenciliğinde bazı operatör duruşlarını analiz etmek için kullanılmıştır. Şekil 1'de geliştirilen yazılımın hesapladığı REBA skoru görülmektedir.



Şekil 1. Geliştirilen yazılım kodu ile a) REBA Analizi b)RULA Analizi

Şekil 1a'deki duruşun detaylı REBA analizi aşağıda görülmektedir.

- Boyun Açısı: 7.67° – Puan 1: Düşük seviyede risk olduğunu göstermektedir. Ancak uzun süreli bu pozisyonda çalışma, boyun bölgesinde gerginlik ve tutukluk oluşturabilir, bu da boyun ağrıları ve kas iskelet sistemi rahatsızlıklarının riskini artırabilir.

Öneri: Çalışma ortamındaki aydınlatma seviyelerinin iyileştirilmesi, işçilerin baş pozisyonlarını daha doğal ve rahat tutmalarına yardımcı olabilir. Ayrıca, işçilere ergonomik baş ve boyun duruşları hakkında eğitimler verilerek, baş pozisyonlarının daha rahat ve doğal tutulması desteklenebilir.

- Gövde Açısı: 94.64° – Puan 3: Orta seviyede risk olduğunu göstermektedir. Uzun süreli bu pozisyon, omurga üzerinde aşırı yük oluşturabilir, bu da bel ve sırt ağrılarına, kas zorlanmalarına ve omurga sorunlarına yol açabilir.

Öneri: Çalışanların eğilme oranlarını azaltmak amacıyla daha uzun saplı araçlar kullanılabilir. Ayrıca, maden içerisindeki çalışma alanlarının yükseltilmesi, işçilerin daha dik bir pozisyonda çalışmalarını sağlayabilir. İşçilere düzenli olarak duruş değiştirmeleri hatırlatılmalı ve çalışma ortamı, duruş değişikliklerini teşvik edecek şekilde düzenlenmelidir.

- Diz Açısı: 148.60° – Puan 2: Orta seviyede risk olduğunu göstermektedir. Uzun süreli çalışma durumunda dizlerin bükülmesi, bacak kaslarını ve eklemleri zorlayabilir.

Öneri: İşçilere dizlerin daha fazla bükülmesini sağlamak amacıyla eğitimler verilebilir, böylece bacak kaslarından destek alınarak bel yükü azaltılabilir. Ayrıca, dizleri daha az zorlayacak ergonomik ekipmanlar kullanılabilir, bu da çalışanların genel duruşlarını iyileştirerek kas-iskelet sistemi üzerindeki baskıyı azaltabilir.

Toplam REBA Skoru: 6 -"Orta Seviyede Risk" : Bu durum, çalışanların duruşlarının daha detaylı bir şekilde incelenmesi ve ergonomik düzenlemeler yapılması gerektiğini ortaya koymaktadır. Şekil 1b'deki duruşun detaylı RULA analizi aşağıda görülmektedir.

- Üst Kol Açısı : 171.32° – Puan 2: Üst kol neredeyse tamamen yukarı kalkmış durumda. Omuz eklemine fazla yük binmesi ve uzun süreli bu pozisyonda kalınması kas yorgunluğuna ve omuz ağrılarına neden olabilir.

Öneri: İşçinin daha az kol kaldırmasını gerektiren bir duruş sağlanmalı. Daha ergonomik saplı bir kürek kullanılarak yükseklik ayarlanabilir.

- Alt Kol Açısı: 164.56° – Puan 2: Alt kolun oldukça düz ve gerilmiş olması, kol kaslarında ve dirsek ekleminde zorlanma oluşturabilir.

Öneri: İşçinin el pozisyonunu daha doğal bir açıda tutmasına yardımcı olacak bir tutma aparatı ya da farklı sap açısı olan bir kürek kullanılabilir.

- Bilek Açısı : 31.79° – Puan 2: Bileğin nötr pozisyondan sapması, bilekte gerginlik yaratabilir ve uzun vadede karpal tünel sendromu gibi rahatsızlıklara neden olabilir.

Öneri: Daha ergonomik tutuş sağlayan bir eldiven desteği ya da daha uygun sap açısı olan aletler kullanılabilir.

- Boyun Açısı: 7.67° – Puan 1: Boyun açısı düşük seviyede bir risk içeriyor. Şu an için büyük bir problem olmasa da uzun süreli çalışma durumlarında boyun tutulmalarına yol açabilir.

Öneri: Aydınlatma iyileştirmeleri ile işçinin daha rahat baş pozisyonu alması sağlanabilir.

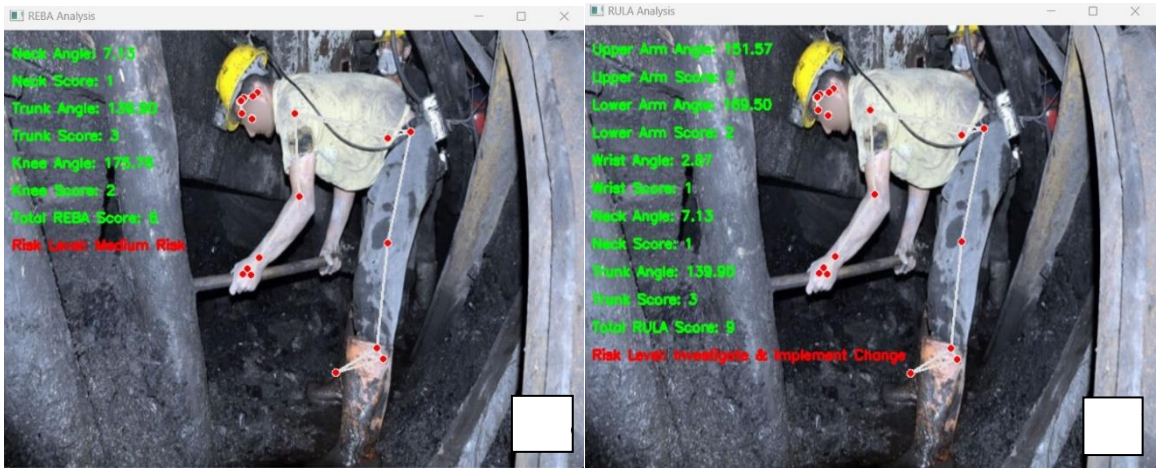
- Gövde Açısı: 94.64° – Puan 3: İşçi oldukça eğilmiş durumda. Bu pozisyon, bel ve sırt bölgesine aşırı yük binmesine yol açarak bel fıtığı, kas zorlanmaları ve kronik sırt ağrılarına neden olabilir.

Öneri:

- Daha uzun saplı kürekler kullanılarak eğilme oranı azaltılabilir.
- Dizlerin daha fazla bükülmesini sağlayan eğitimler verilebilir, böylece belden değil, bacak kaslarından destek alınır.
- Maden içerisindeki çalışma alanları yükseltilerek işçilerin

daha dik pozisyonda çalışması sağlanabilir.

Toplam RULA Skoru: 10 – "Risk Seviyesi Yüksek": Bu duruş ergonomik olarak yüksek risk taşımaktadır ve değişiklik yapılması gerekmektedir.



Şekil 2. Geliştirilen yazılım kodu ile a) REBA Analizi b)RULA Analizi

Şekil 2a'daki duruşun detaylı REBA analizi aşağıda görülmektedir:

- Boyun Açısı: 7,44° – Puan 1: Boyun açısı düşük risk seviyesinde olup, nötre yakın bir pozisyonu gösteriyor. Ancak uzun süreli bu pozisyonda çalışma, boyun bölgesinde gerginlik ve tutukluk oluşturabilir.

Öneri: Çalışma ortamındaki aydınlatma ve işçilerin baş pozisyonlarını daha doğal tutmalarına yardımcı olacak ergonomik düzenlemeler yapılmalı. Ayrıca, işçilere doğru boyun duruşu hakkında eğitimler verilmeli.

- Gövde Açısı :157,46° – Puan 3: Gövde açısı oldukça eğilmiş bir pozisyonu gösteriyor ve orta-yüksek risk seviyesine işaret ediyor. Bu durum, bel ve sırt bölgesinde aşırı yük oluşturabilir, bu da bel ağrıları ve kas zorlanmalarına yol açabilir.

Öneri: Daha uzun saplı araçlar kullanılarak eğilme oranı azaltılabilir. Ayrıca, çalışma alanlarının yükseltilmesi veya işçilerin daha dik pozisyonda çalışmalarını sağlayacak düzenlemeler yapılmalı.

- Diz Açısı: 170,20° – Puan 2: Diz açısı neredeyse düz bir pozisyonu gösteriyor ve orta risk seviyesine işaret ediyor. Bu pozisyon, diz eklemlerinde

ve bacak kaslarında zorlanmaya neden olabilir.

Öneri: İşçilere dizlerini daha fazla bükerek çalışmaları konusunda eğitimler verilmeli. Ayrıca, dizleri daha az zorlayacak ergonomik ekipmanlar kullanılmalı.

Toplam REBA Skoru: 6 – Orta Seviyede Risk: Bu skor, çalışanların duruşlarının daha detaylı incelenmesi ve ergonomik iyileştirmeler yapılması gerektiğini gösteriyor. Şekil 2b'deki duruşun detaylı RULA analizi aşağıda görülmektedir:

- Üst Kol Açısı: 150,75° – Puan 2: Üst kol açısı, kolun yukarı doğru kalkmış bir pozisyonda olduğunu gösteriyor. Bu durum, omuz eklemine fazla yük binmesine ve kas yorgunluğuna neden olabilir.

Öneri: İşçinin daha az kol kaldırmasını gerektiren bir duruş sağlanmalı. Daha ergonomik saplı aletler kullanılarak yükseklik ayarlanabilir.

- Alt Kol Açısı: 169,33° – Puan 2: Alt kolun oldukça düz ve gerilmiş olması, kol kaslarında ve dirsek ekleminde zorlanma oluşturabilir.

Öneri: İşçinin el pozisyonunu daha doğal bir açıda tutmasına yardımcı olacak tutma aparatları veya farklı sap açısı olan aletler kullanılabilir.

- Bilek Açısı: 5,97° – Puan 1: Bilek açısı nötre yakın bir pozisyonu gösteriyor ve düşük risk seviyesine işaret ediyor. Ancak uzun süreli çalışma durumlarında bilekte gerginlik oluşabilir.

Öneri: Daha ergonomik tutuş sağlayan eldivenler veya aletler kullanılabilir.

- Boyun Açısı: 7,44° – Puan 1: Boyun açısı düşük risk seviyesinde olup, nötre yakın bir pozisyonu gösteriyor. Ancak uzun süreli çalışma durumlarında boyun tutulmalarına yol açabilir.

Öneri: Aydınlatma iyileştirmeleri ile işçinin daha rahat baş pozisyonu alması sağlanabilir.

- Gövde Açısı: 157,46° – Puan 3: Gövde açısı oldukça eğilmiş bir pozisyonu gösteriyor ve yüksek risk seviyesine işaret ediyor. Bu durum, bel ve sırt bölgesinde aşırı yük oluşturabilir.

Öneri: Daha uzun saplı aletler kullanılarak eğilme oranı azaltılabilir. Ayrıca, çalışma alanlarının yükseltilmesi veya işçilerin daha dik pozisyonda çalışmalarını sağlayacak düzenlemeler yapılmalı.

Toplam RULA Skoru: 9 – Yüksek Risk: Bu skor, duruşun ergonomik olarak yüksek risk taşıdığını ve acilen değişiklik yapılması gerektiğini gösteriyor.

5. SONUÇ

Madencilik sektörü, özellikle yeraltı madenciliği, çalışanların fiziksel ve psikolojik sağlığını tehdit eden birçok risk barındırmaktadır. Bu çalışmada, REBA ve RULA yöntemleri kullanılarak ergonomik riskler analiz edilmiş ve OpenCV tabanlı bir sistemle çalışanların hareketleri gerçek zamanlı olarak izlenmiştir. Analizler, çalışanların duruşlarının orta ve yüksek seviyede ergonomik risk taşıdığını ortaya koymuştur.

Ergonomik riskleri azaltmak için, ayarlanabilir çalışma platformları, mekanizasyon sistemleri ve ergonomik ekipman kullanımı gibi önlemler önerilmiştir. Ayrıca, çalışanlara ergonomik duruş ve doğru çalışma teknikleri konusunda eğitimler verilmesi, uzun vadeli sağlık sorunlarını önlemede kritik bir rol oynayacaktır.

Geliştirilen Python tabanlı sistem, riskli pozisyonları tespit ederek anında uyarılar göndermekte ve madencilik sektöründe ergonomik açıdan iş güvenliğini artırmayı hedeflemektedir. Bu teknolojik çözüm, çalışanların güvenliğini artırırken, iş verimliliğini de optimize edecektir.

Sonuç olarak, bu çalışma, madencilik sektöründeki ergonomik ve iş güvenliği sorunlarına yönelik kapsamlı analizler ve iyileştirme önerileri sunmuştur. Ergonomik düzenlemeler ve teknolojik çözümler, çalışanların sağlığını koruyarak sürdürülebilir çalışma koşullarının oluşturulmasına katkı sağlayacaktır. Ayrıca önerilen yöntem sadece madencilik değil diğer birçok sektörde ergonomik duruşların analizlerini yapmak için de kullanılabilir.

TEŞEKKÜR

Bu çalışma TÜBİTAK 2209-A araştırma programı tarafından desteklenen 1919B012323650 numaralı "Madencilik Sektöründe Ergonomi, İş Güvenliği Sorunlarının Analizi ve İyileştirme Stratejileri" başlıklı çalışma kapsamında gerçekleştirilmiştir. Teşekkürlerimizi sunarız.

KAYNAKLAR

Chen ve Wang (2022). Artificial Intelligence Applications in Mine Safety Management.

Hignett, S., ve McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). Applied Ergonomics, 31(2), 201-205. https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3

McAtamney, L., ve Corlett, E. N. (1993). RULA: A survey method for the investigation of work-related upper limb disorders. Applied Ergonomics, 24(2), 91-99. https://doi.org/10.1016/0003-6870(93)90080-S

Patel, Gupta, ve Singh (2020). Ergonomic Risks in Underground Mining: A Systematic Review.

Zhou ve Pan (2019). Postural Strain and Musculoskeletal Disorders in Mining Industry.

ELEKTRİK PANOLARININ TERMAL GÖRÜNTÜLEME YÖNTEMİ İLE DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF ELECTRICAL PANELS WITH THERMAL IMAGING METHOD

Oğuz GORA
Dokuz Eylül Üniversitesi, İş Sağlığı ve Güvenliği, İzmir

Mete KUN
Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZ: Elektrik panoları, özellikle endüstriyel tesislerde, elektrik enerjisinin dağıtımı, makine ve sistemlerin kontrolü ile izlenmesi ve güvenlik önlemlerinin uygulanması amacıyla kullanılan kritik bileşenlerdir. Bu panolar, farklı işlevlere sahip çok sayıda elektriksel ve elektronik komponent içermektedir. Bazı komponentler, normal çalışma koşulları altında belirli bir seviyede ısı üretirken, aşırı yüklenme, bağlantı ve izolasyon hataları, yanlış komponent seçimi veya olumsuz çevresel faktörler gibi etkenler nedeniyle kabul edilebilir sınırların üzerinde ısınarak güvenlik risklerini artırabilmektedir. Bu nedenle, elektrik panolarında termal güvenliğin sağlanması ve sürekliliğinin temin edilmesi, yalnızca teknik bir zorunluluk olmanın ötesinde, ulusal ve uluslararası mevzuat ile standartlar açısından da önemli bir gereklilik arz etmektedir. Bu çalışmada, bir işletmeye ait elektrik panolarının termal görüntüleme yöntemi ile değerlendirilmesi gerçekleştirilmiştir. Termal görüntüleme teknolojisi, pano içerisindeki sıcaklık dağılımının detaylı bir şekilde analiz edilmesine olanak tanımış ve potansiyel tehlike arz eden bölgelerin tespit edilmesini sağlamıştır. Çalışmanın bulguları, elektrik panolarında meydana gelebilecek aşırı ısınma kaynaklı arızaların önceden belirlenmesine ve olası güvenlik risklerinin minimize edilmesine yönelik önemli veriler sunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: elektrik panoları, termal görüntüleme, iş sağlığı ve güvenliği

ABSTRACT: *Electrical panels are critical components used in industrial facilities for the distribution of electrical energy, the control and monitoring of machinery and systems, and the implementation of safety measures. These panels contain numerous electrical and electronic components with various functions. While some of these components generate a certain level of heat under normal operating conditions, factors such as overloading, connection and insulation failures, improper component selection, and adverse environmental conditions may cause excessive heating, increasing safety risks. Therefore, ensuring and*

maintaining thermal safety in electrical panels is not only a technical necessity but also a requirement mandated by national and international regulations and standards. In this study, the electrical panels of an industrial facility were evaluated using thermal imaging techniques. Thermal imaging technology enabled a detailed analysis of the temperature distribution within the panels and facilitated the identification of potentially hazardous areas. The findings of this study provide valuable insights into the early detection of overheating-related failures in electrical panels and the mitigation of potential safety risks.

Keywords: *Electrical Panels, Thermal Imaging, Occupational Safety and Health*

1.GİRİŞ

İş sağlığı ve İş sağlığı ve güvenliği (İSG), çalışanların sağlığını ve güvenliğini korumak, iş kazalarını ve meslek hastalıklarını önlemek amacıyla geliştirilen sistematik yaklaşımlar bütünüdür. Elektrik enerjisi, sanayi tesislerinden ticari binalara kadar geniş bir kullanım alanına sahip olup, sağladığı avantajların yanı sıra ciddi tehlikeler de barındırmaktadır. Elektrik kaynaklı kazalar, elektrik çarpması, ark hataları, yangın ve patlama gibi risklere yol açabilmekte, bu durum da elektriksel güvenliğin sağlanmasını hayati bir gereklilik haline getirmektedir.

Elektriksel güvenlik, 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (Resmi Gazete, 2012), Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği (Resmi Gazete, 2001), Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği (Resmi Gazete, 1984) ve Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik (Resmi Gazete, 2007) gibi yasal düzenlemeler kapsamında ele alınmaktadır. Bu mevzuatlar, elektrik enerjisinin güvenli bir şekilde iletilmesi, dağıtılması ve kullanılması için alınması gereken teknik ve idari önlemleri belirlemektedir. Özellikle Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, panolarda güvenli işletme koşullarının sağlanmasını ve topraklama sistemlerinin uygunluğunu zorunlu kılmaktadır. Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik ise elektrik tesisatının yangın güvenliği açısından uygun malzemelerle tasarlanmasını ve periyodik kontrollerinin yapılmasını şart koşmaktadır.

Elektrik panoları, enerjinin yönetilmesi ve dağıtılmasını sağlayan sistemlerin merkezinde yer almakta olup, çalışma esnasında aşırı ısınma, yalıtım hataları, gevşek bağlantılar ve aşırı yüklenme gibi faktörler nedeniyle ciddi güvenlik tehditleri oluşturabilmektedir. TS EN 61439 Alçak Gerilim Anahtarlama ve Kontrol Düzeni Standardı ve TS EN 60529 Koruma Dereceleri Standardı (IP Kodları) gibi uluslararası standartlar, elektrik panolarının güvenliğini artırmak amacıyla tasarım ve koruma sınıflarına yönelik belirli kriterler getirmektedir.

Yangın güvenliği açısından değerlendirildiğinde, Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, elektrik tesisatlarının uygunluk denetimlerini zorunlu kılmakta ve yüksek risk taşıyan alanlarda yangın algılama ve söndürme sistemlerinin entegrasyonunu gerektirmektedir. Elektrik kaynaklı yangınlar, genellikle aşırı ısınma ve ark hataları nedeniyle meydana gelmekte olup, bu tür risklerin erken tespit edilmesi büyük önem taşımaktadır.

Termal görüntüleme, cisimlerin yaydığı kızılötesi ışınları algılayarak bu ışınları görsel verilere dönüştüren bir teknolojidir. İnsan gözünün göremediği kızılötesi spektrumda çalışan bu teknoloji, cisimlerin yüzey sıcaklıklarını tespit eder ve bu sıcaklık farklılıklarını termal görüntüler halinde sunar. Bu görüntüler, sıcaklık dağılımlarını renkli haritalar şeklinde gösterir.

Termal kameralar, cisimlerin yaydığı kızılötesi radyasyonu algılayan özel dedektörlerle donatılmıştır. Bu dedektörler, cisimlerin yüzey sıcaklıklarını ölçer ve bu bilgiyi elektrik sinyallerine dönüştürür. Ardından, bu sinyaller termal görüntülere çevrilir. Genellikle, sıcak bölgeler kırmızı veya beyaz, soğuk bölgeler ise mavi veya siyah renklerle gösterilir. Bu sayede, sıcaklık farklılıkları görsel olarak kolayca analiz edilebilir.

Termal görüntüleme teknolojisi, ilk olarak askeri ve endüstriyel uygulamalar için geliştirilmiştir. İlk termal kameralar 1950'lerde kullanılmaya başlanmış olup, bu cihazlar büyük ve pahalıydı. Ancak, teknolojinin gelişmesiyle birlikte termal kameralar daha kompakt, hassas ve erişilebilir hale gelmiştir.

Günümüzde, termal görüntüleme geniş bir uygulama yelpazesinde kullanılmaktadır ve iş güvenliği de bu uygulama alanlarından biridir.

Bu bağlamda, termal görüntüleme teknolojisi, elektrik panolarındaki sıcaklık dağılımını analiz ederek aşırı ısınan noktaları tespit etmede etkili bir yöntem olarak öne çıkmaktadır. NFPA 70B Elektrik Tesislerinde Önleyici Bakım Standardı (NFPA, 2023) da termal görüntüleme kullanımını önleyici bakım prosedürleri arasında önermekte ve bu yöntemin düzenli aralıklarla uygulanmasını tavsiye etmektedir. Termal görüntüleme yöntemi, özellikle görünür ışık altında tespit edilmesi zor olan ısı anomalilerini belirleyerek, potansiyel arızaların ve güvenlik risklerinin önceden saptanmasını sağlamaktadır.

Bu çalışmada, endüstriyel bir işletmeye ait elektrik panolarının termal görüntüleme yöntemiyle değerlendirilmesi gerçekleştirilmiş ve elde edilen bulgular doğrultusunda elektriksel güvenliğe yönelik öneriler sunulmuştur. Çalışmanın bulguları, elektrik panolarında meydana gelebilecek aşırı ısınma kaynaklı arızaların erken tespit edilmesine ve olası güvenlik risklerinin minimize edilmesine yönelik önemli veriler sağlamaktadır. Termal görüntüleme yönteminin işletmelerde bu hali ile kullanımı, gerek iş gerekse işçi sağlığı açısından olası tehlikelerin önceden bertaraf edilmesi açısından önemlidir.

2.MALZEME VE YÖNTEM

Kızılötesi termografi, yüzey sıcaklığının önemli olduğu mühendislik dahil olmak üzere çeşitli endüstrilerde kullanılan tahribatsız bir sıcaklık haritalama yöntemidir. Bu teknoloji, malzemelerin ve yapıların analizinde ve karakterizasyonunda önemli bilgiler sağlar. Kızılötesi bantta yüzeyden yayılan termal enerji, kızılötesi termografi ile her bir enerji seviyesini temsil eden renk spektrumu ile görünür bir görüntüye dönüştürülür (Meola vd., 2005; Avdelidis vd., 2007). Termografi genellikle bir duvar veya çatıdaki termal dirençteki değişimleri göstermek için kullanılan kalitatif bir yöntem olarak kabul edilir

(Grinzato vd., 1998). Bu tür yöntemler genellikle nesnenin termal olarak uyarılması ve katılarda ısı iletimini içeren geçici ısıtma veya soğutma fazı sırasında yüzey sıcaklığı değişiminin izlenmesinden oluşur (Popov vd., 1999).

Isı transferi veya iletimi, bitişik yapıların sıcaklık farkından kaynaklanan enerji transferi olarak tanımlanabilir. Aktarılan ısı miktarı gözeneklilik, şekil, sıcaklık aralığı, nem ve tek eksenli basınç gibi çeşitli faktörlere bağlıdır (Clauser ve Huenges, 1995; Singh vd., 2007). Isı yalıtımı enerji tasarrufunda önemli bir yöntemdir. Isı yalıtım sistemleri ısı iletkenliği ile karakterize edilebilir. Isı iletkenliği öncelikle kayanın mineral bileşimi ve dokusu tarafından kontrol edilir (Popov vd., 1999). Bir kayanın ısıl iletkenliği, kayadaki sıcaklık gradyanı ve ısı kaynağı ölçümleri ile belirlenir. Termal iletkenliği hesaplamak için kullanılan ampirik formül Fourier Yasasıdır ve Eşitlik 1'de ifade edilir; burada birim zamanda transfer edilen ısı miktarı (W), iletkenlik (W/m.K), kesit yüzey alanı (m2), ΔT sıcaklık farkı (K) ve Δx kaya örneğinin kalınlığıdır (Altay vd., 2001; Görgülü, 2004).

$$\frac{\Delta Q}{\Delta t} = -k\,A\,\frac{\Delta T}{\Delta x} \tag{1}$$

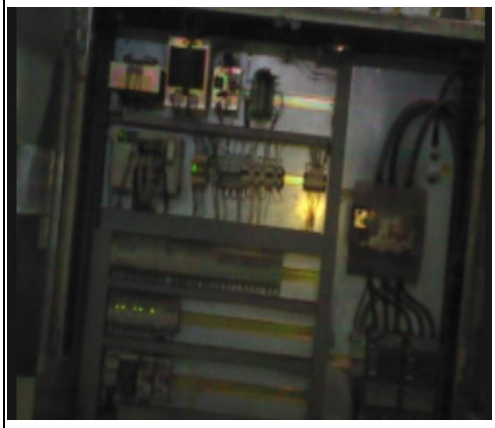
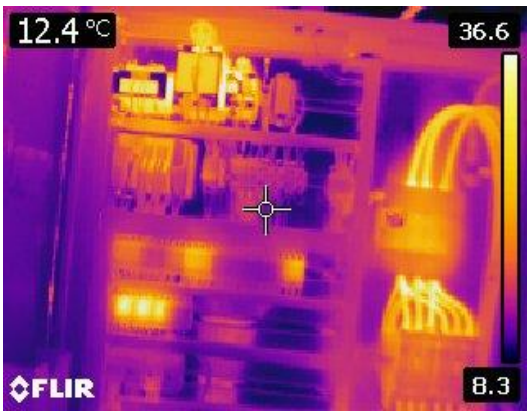
Kızılötesi termografinin malzeme karakterizasyonunda kullanımına ilişkin Gündüz ve diğerleri (2001), Demirdağ ve Gündüz (2003), Vosteen ve Schellscmidt (2003), Meola ve diğerleri (2004), Nilica ve Harmuth (2005), Meola (2007) ve Shi ve diğerleri (2007) gibi birçok değerli çalışma bulunmaktadır. Ayrıca, çeşitli kayaçların veya yalıtım malzemelerinin yalıtım performansı birçok bilim insanı tarafından ayrıntılı olarak araştırılmıştır (Al-Kassir vd., 2005; Synnefa vd., 2006; Barreira ve Freitas, 2007; Durmuş ve Görhan, 2009). Örneklerin ısı iletkenliği, ısı transfer kapasitesi ve ısı yalıtımının değerlendirilmesi, literatürde belirtildiği gibi her bir örneğin fiziksel ve kimyasal karakterizasyonuna ve kızılötesi termografisine bağlı olarak gerçekleştirilmiştir.

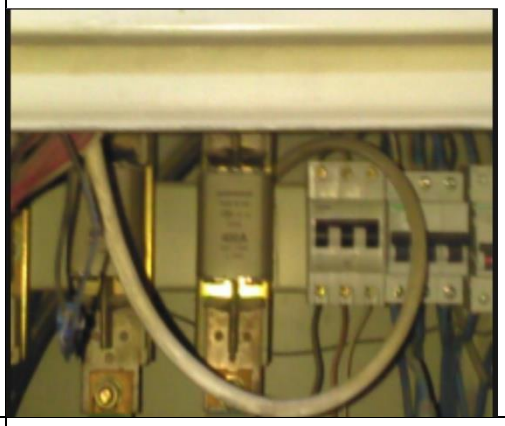
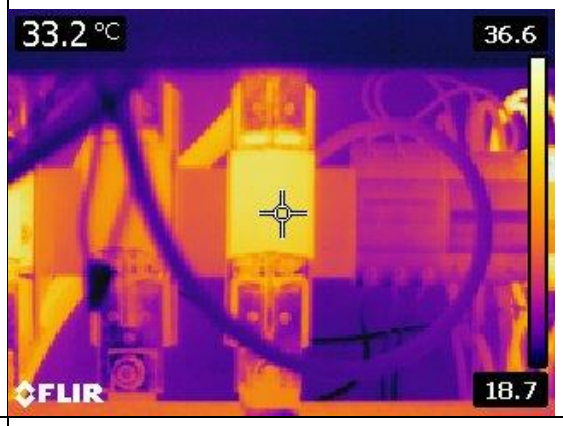
Yapılan çalışmada, İzmir'de bir geri dönüşüm fabrikasına ait elektrik panoları termografi yöntemi ile incelenmiştir. Ölçümler 10 Şubat 2025 tarihinde dış ortam sıcaklığının 12 ◦C olduğu koşullarda gerçekleştirilmiştir.

3.BULGULAR

İşletmeden alınan görüntü örnekleri aşağıdaki çizelgede sunulmaktadır.

Çizelge 1. İşletmeye ait elektrik panoları görüntüleri.

Pano Tipi/Görevi	***Görünür Işık Spektrum Görüntüsü***	***Termal Görüntü***
Pres Panosu		
Pres Panosu		

Pano içi Bıçaklı Sigorta		
Pano içi Direnç		

Çizelge 1’ de gösterildiği gibi işletmelerde yer alan panoların tipi ve görevlerine göre farklı alanlarda karşılaşılan ısı değişimleri, özellikle yaz aylarında ortam sıcaklıklarının da artması ile çok daha yüksek seviyelerde olacaktır. Böyle bir durumun, panolardaki yangın riskini ciddi anlamda ortaya çıkarması muhtemeldir.

4. SONUÇLAR

Tesisin elektrik panoları incelendiğinde genel olarak pano iç yerleşimlerinde, kablolama ve etiketleme hususlarında problem olduğu göze çarpmaktadır. Panoların iç düzeninin sağlanmaması, havalandırma ve gerektiğinde soğutma fonksiyonlarının etkin bir şekilde yerine getirilmemesi varolan risklerin düzeylerini arttıran bir etki göstermektedir. Termal görüntüler

ve panoların genel görünümleri incelendiğinde şu hususların öne çıktığı görülmektedir:

- Panoların iç düzenin ve kablolamasının gözden geçirilmesi, elektrik projelerine uygun kontrollerin sağlanması gerekmektedir.
- Elektrik tesislerinde topraklamalar yönetmeliğine uygun biçimde pano gövdesinin ve ekipmanlarının topraklanması sağlanmalı ve yıllık periyodik kontrolleri gerçekleştirilmelidir.
- Elektrik panosu ve bağlantı elemanlarının uygun izolasyon seviyesinde olması izolasyon testleriyle sağlanmalı.
- Panoların erişimi konusunda yetkisiz kişilerin erişimini engelleyecek kilitler kullanılmalı ve panolar kilitli tutularak yetkili kişinin erişimine izin verilmelidir.
- Panoların üzerinde standartlara uygun uyarı levhaları bulundurulması ve okunaklı olması kontrol edilmelidir.
- Panolara müdahale edecek kişilerin, Elektrik kuvvetli akım tesislerinde çalışma yetkisine sahip kişiler olması sağlanmalıdır.
- Panolarda aşırı yüklenmenin önüne geçilmesi için sigorta, kesici ve şalterlerin uygun yük kapasitesinde seçildiğinden emin olunması gerekmektedir. Termal görüntülerde kış koşullarında olmasına karşın ısınan sigortalar gözlemlenmiştir.
- Pano içi ekipmanların günümüz koşullarına göre modernize edilmesi gerekenler belirlenerek bu işlem gerçekleştirilmelidir. Termal görüntülerde yer alan bıçaklı tip sigortalar otomatik sigortalar ile değiştirilmelidir.
- NFPA 70B standardına uygun olarak panoların uygun termal görüntüleme testlerinden geçirilmesi ve aşırı ısınma noktalarının tespit edilmesi gerekmektedir.
- Panolarda alev geciktirici malzemeler kullanılmalıdır.

- Pano içlerinde hava sirkülasyonu sağlanmalı. Isınan elemanların varlığı durumlarında soğutma konusu ve soğutmanın etkinliği üzerinde durulmalıdır. Termal görüntülerde yer alan ısı üreten dirençlerin kış koşullarında dahi yüksek sıcaklıklara erişildiği görülmüştür. Dirençlerin soğutmasının etkinliği incelenmelidir.
- Panoların bulunduğu alanlarda elektrik yangınlarına uygun yangın söndürücüler bulundurulmalıdır.
- Pano içi aydınlatmaların uygun biçimde tesis edilmesi hem termal görüntüleme hem de çeşitli kontrol cihazlarının kolay erişimi ve sağlıklı çalışması için önem arz etmektedir. Gerekli önemlerin alınarak uygun aydınlatmaların sağlanması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Al-Kassir, A.R., Fernandez, J., Tinaut, F.V., Castro, F. (2005). Thermographic study of energetic installations. Applied Thermal Eng., 25: 183-190, Elsevier.

Barreira, E., Freitas, V.P. (2007). Evaluation of building materials using infrared thermography. Construction and Building Mat., 21: 218-224, Elsevier.

Clauser, C., Huenges, E. (1995). Rock physics and phase relations. A handbook of physical constants,Vol. 3, 105.

Demirdag, S., Gündüz, L. (2003). The characteristics of pumice and analysis of thermal insulation (In Turkish). 18th International Mining Congress and Exhibition, Turkey, 10-13.

Durmus, G., Görhan, G. (2009). Evaluation of termographic images with respect to thermal conductivity (In Turkish). Journal of Technical-Online, Vol.8, 1: 48-57.

Grinzato, E., Vavilov, V., Kauppinen, T. (1998). Quantitative infrared thermography in buildings. Energy & Build., 29: 1-9.

Gündüz, L., Ugur, L., Demirdag, S. (2001). Investigation of heat capacities of marble species. 3rd Marble Symp., Afyon.

https://www.nfpa.org/product/access-nfpa-70b-electrical-equipment-maintenance-practices/p0070bcode.

Meola, C. (2007). Infrared thermograpgy of masonry structures. Infrared Physics & Technology, 49: 228-233, Elsevier.

Meola, C. Di Maio, R., Roberti, N., Carlomagno, G.M. (2005). Application of infrared thermography and geophysical methods for defect detection in architectural structures. Engineering Failure Analysis, 12: 875-892, Elsevier.

Meola, C., Carlomango, M., Gierleo, L. (2004). The use of infrared thermograpgy for materials characterization. Journal of Materials Processing Tech., 155-156:1132-1137, Elsevier.

NFPA, (2023). Elektrik Tesislerinde Önleyici Bakım Standardı (Standard for Electrical Equipment Maintenance)

Nilica, R., Harmuth, H. (2005). Mechanical and fracture mechanical characterization of building materials used for external thermal insulation composite systems. Cement and Concrete Research, 35: 1641-1645, Elsevier.

Popov, Y.A., Pribnow, F.C., Sass, J.H., Williams, C.F., Burkhardt, H. (1999). Characterization of rock thermal conductivity by high-resolution optical scanning. Geothermics, 28: 253-276, Pergamon.

Resmi Gazete, (1984). Elektrik İç Tesisleri Yönetmeliği, https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=10391&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5. Erişim tarihi: 10.03.2025.

Resmi Gazete, (2001). Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği, https://mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=10392&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5. Erişim tarihi: 10.03.2025.

Resmi Gazete, (2007). Binaların Yangından Korunması Hakkında Yönetmelik, https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2007/12/20071219-2.htm. Erişim tarihi: 10.03.2025.

Resmi Gazete, (2012). İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2012/06/20120630-1.htm Erişim tarihi: 10.03.2025.

Shi, W., Wu. Y., Wu. L. (2007). Quantitative analysis of the projectile impact on rock using infrared thermography. International Journal of Impact Engineering. 34: 990-1002, Elsevier.

Singh, T.N., Sinha, S., Singh, V.K. (2007). Prediction of thermal conductivity of rock through physico-mechanical properties. Building and Environment, 42: 146-155, Elsevier.

Synnefa, A., Santamouris, M., Livada, I. (2006). A study of the thermal performance of reflective coatings for the urban environment. Solar Energy, 80: 968-981, Elsevier.

Vosteen, H.D., Schellschmidt, R. (2003). Influence of temperature on thermal conductivity, thermal capacity and thermal diffusivity for different types of rock. Physics and Chemistry of the Earth, 28: 499-509, Pergamon.

YERALTI KÖMÜR MADENLERİNDE OLUŞABİLECEK OLASI PATLAMALARA KARŞI PASİF TEMEL KORUNMA TEDBİRLERİ VE GELİŞİMLERİ

PASSIVE FUNDAMENTAL PROTECTION MEASURES AND DEVELOPMENTS AGAINST POSSIBLE EXPLOSIONS IN UNDERGROUND COAL MINES

Hüseyin Şen
Şen Plastik, Başakşehir/İstanbul

Susanne Schulte-Wantia
Dr. Klaus Schulte GmbH, Dortmund / Almanya

Mustafa Çağlar
Essen / Almanya

Max Thomas Stöttner
One Seven Premium CAFS GmbH, Luckenwalde / Almanya ve Pretoria/Güney Afrika

ÖZET: Yeraltı kömür madenciliğinde, yapıcı ve önleyici patlama koruması, metan gazı ve kömür tozu patlamalarının yıkıcı etkilerine karşı uygulanacak iki araçtır. Ayrıca, böyle bir patlamanın önlenememesi ve patlama korumasına rağmen belirli bir dereceye ulaşması durumunda, çalışanlar için kendini kurtarma gibi akut önlemleri alınmaktadır. Hem (genellikle çok pahalı olan) maden altyapısını hem de çalışanların sağlığını ve hayatını korumak önemlidir ve sadece ikinci nedenden dolayı bile bu görev son derece büyük bir sorumluluktur. Patlamaya karşı koruma, iş güvenliği mühendisleri, havalandırma mühendisleri ve işletme yöneticileri için sorumlu bir görevdir. Bu nedenle bu sorumlu uzman kişilerin her zaman patlamaya karşı koruma kurallarını, uygulama yöntemlerini ve mevcut ürünleri ele alması önemlidir. Uygun önlemlerin ve ürünlerin tasarımı, metan gazı ve kömür tozu patlamalarının fiziksel ilkelerine dayanmaktadır. Madenlerdeki karar vericiler patlamaya karşı korunma için bir dizi alternatif yöntem ve ürüne sahiptir ve hatta onları belirli ürünlerle sınırlayan yasal kısıtlamaların olduğu ülkelerde bile farklı tedarikçiler ve tasarımlar arasında seçim yapabilmektedirler. Yenilikler nedeniyle, bu tür ulusal düzenlemeler devamlı olarak güncellenmektedir. Bu bildiri; yıllar içindeki gelişmelere ve şu anda mevcut olan uygulamalara genel bir bakış sağlamanın yanı sıra, özel uygulamanız için en uygun ürünü bulmanıza yardımcı olacak bir karşılaştırma sunmayı amaçlamaktadır. Madencilerin sağlığını ve hayatını korumak için

patlamalara karşı yapısal korunma şarttır ve bu nedenle maden işletmelerinde en önemli öncelik olmalıdır.

Anahtar Kelimeler: Patlamaya karşı koruma, metan, kömür tozu, taş tozu bariyerleri, su teknesi bariyerleri, su torba bariyerleri

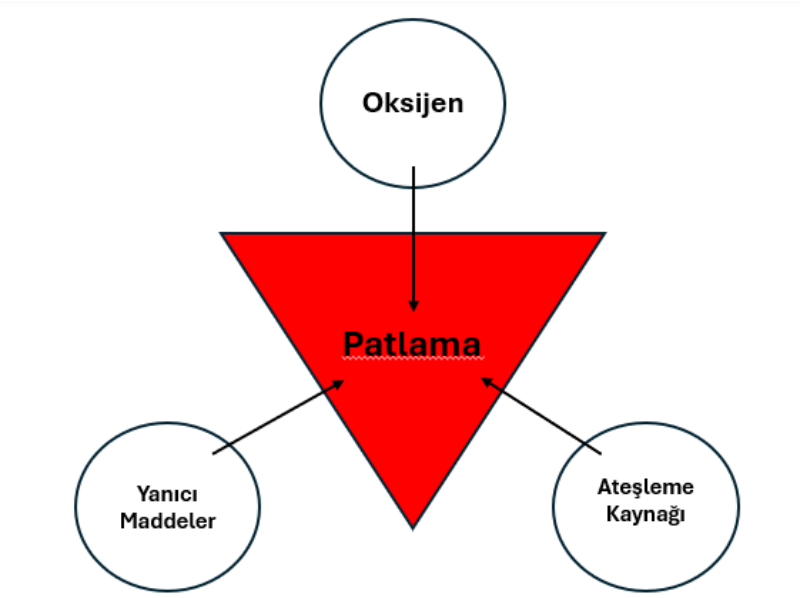
ABSTRACT: *In underground coal mining, constructive and preventive explosion protection are the two tools to counter the destructive effects of methane gas and coal dust explosions. Furthermore, acute measures such as self-rescue for workers are taken in case such an explosion cannot be prevented and reaches a certain degree despite blast protection. It is important to protect both the (often very expensive) mine infrastructure and the health and lives of workers, and for the latter reason alone this task is extremely important. Explosion protection is a responsible task for safety engineers, ventilation engineers and plant managers. It is therefore important that these responsible specialists and their group always address explosion protection rules, implementation methods and available products. Decision makers in mines have a range of alternative methods and products for explosion protection and can choose between different suppliers and designs, even in countries where there are legal restrictions limiting them to specific products. Due to innovations, such national regulations are regularly adapted. This article aims to provide an overview of developments over the years and the applications currently available, as well as a comparison to help you find the most suitable product for your specific application. Structural protection from explosions is essential to protect the health and lives of miners and should therefore be a top priority in mining operations.*

Keywords: *Explosion protection, methane, coal dust, stone dust barriers, water trough barriers, water bag barriers*

1. KÖMÜR MADENLERİNDE PATLAMA TEHLİKESİ VE PATLAMADAN KORUNMA ÖNLEMLER

1.1. Grizu Patlamaları ve Kömür Tozu Patlamaları

Yeraltı kömür madenciliğinde temel olarak iki patlama tehlikesi vardır. Bunlar; Grizu patlamaları olarak adlandırılan patlayıcı metan gazı/hava karışımlarının tutuşması ve kömür tozunun tutuşmasıdır. Patlamalar yakıt, ateşleme kaynağı ve oksijen gibi çeşitli faktörlerin bir araya gelmesinden kaynaklanır (Şekil 1).



Şekil 1. Patlama faktörlerinin etkileşimi

Grizu patlamaları Maden gazı olarak da bilinen kömürün çıkarılması sırasında açığa çıkan metan, yetersiz havalandırma olması halinde patlayıcı gaz/hava karışımlarının oluşmasına yol açabilir. Genel olarak, bu karışımlar hacimce %4,5 ila 15 arasında bir metan içeriğinde tutuşabilir olarak kabul edilmektedir. Bu sırada en az 650° C' lik bir ateşleme kıvılcımı eklenirse karışım ateşlenmektedir. Grizu patlamalarının ateşleme kaynakları genellikle hatalı patlatma işleri, kusurlu elektrik bağlantıları, uygun olmayan plastik ekipmandan kaynaklanan elektrostatik deşarj da olabilir. Bunlara örnek olarak; gerekli iletkenliğe sahip olmayan fantüp, su tekneleri veya su torbaları verilebilir.

Çoğu durumda, grizu patlamaları kömür damarı üzerindeki çalışmalar, gazın çoğunun açığa çıktığı galeri sürme ve üretim esnasında meydana gelir. Sonuç olarak bu risk, söz konusu faaliyet alanlarına oldukça iyi bir şekilde lokalize edebilmektedir. Ayrıca çoğu durumda, mevcut metanın oldukça hızlı bir şekilde yanması nedeniyle, grizu patlamalarının yayılma kapsamı da sınırlıdır. Büyük miktarlar genellikle yalnızca gaz püskürmesi (degaj) gibi istisnai olaylarda ortaya çıkmaktadır.

Bu tespit Grizu patlaması riskini küçümsemek için tasarlanmamıştır, ancak koruyucu önlemlerin yukarıda belirtilen çalışma alanlarına yakın yerel ortamıyla sınırlı olmasına izin vermektedir.

Grizu patlamalarının ana riskleri aşağıdaki üç olgudan kaynaklanmaktadır:

i. Yanma ısısı 1.500 C ile 2.650 C arasındadır. Etkilenen bölgedeki insanlar, bazıları ölümcül olan son derece ciddi yanıklara maruz kalmaktadır.
ii. Patlamadan sonraki gazlar zehirlidir ve bu da patlamadan uzakta bulunan tüm maden çalışanları için büyük risk oluşturmaktadır.
iii. Grizu patlamaları kömür tozu patlamasının en yaygın ateşleme kaynağıdır.

Yeraltı kömür madenciliğindeki en büyük tehlikelerden biri grizu patlamalarıdır ve bu nedenle her ne pahasına olursa olsun önlenmelidir.

Kömür tozu patlamaları; Bir kömür tozu patlamasının meydana gelmesi için iki ön koşul gereklidir. Bunlar; yoğun bir kömür tozu bulutunun oluşması ve sıcak bir alevin oluşmasıdır. Patlama süreci aşağıdaki gibi olmaktadır;

Alev tarafından yakalanan kömür tozu parçacıkları hidrojen, metan ve diğer gazları oluşturarak gazdan arındırılır. Gazlar hava ile karışarak alev tarafından tutuşturulan patlayıcı bir gaz-hava karışımı oluşturur. Sonuç olarak daha fazla kömür tozu partikülü yanar ve gazdan arındırılır, böylece bir kez kömür tozu patlaması başlatıldığında, patlama koşulları korunduğu sürece uzun mesafeler boyunca devam edebilir. Kömür tozu patlamasının en yaygın nedeni, daha önce meydana gelen bir grizu patlamasıdır. Grizu patlamalarından önceki basınç, biriken kömür tozunu yukarı fırlatır (havalandırır), bunu takip eden patlama alevi yukarıda açıklandığı şekilde tozu gazlaştırır ve tutuşturur. Kömür tozu esas olarak madencilik faaliyetlerinde ve kömür damarı galerilerinde ortaya çıkmakta ve hava akımı ile taşınmaktadır. Sonuç olarak, havadaki toz esas olarak yukarıda bahsedilen tesislerde ve bunların çıkış yollarında bulunmaktadır. Bu da bu çalışma noktalarının arkasında toz birikebileceği ve bu tozların her an bir grizu

patlamasının basınç dalgalanmasıyla havaya uçabileceği anlamına gelmektedir. Ancak, aktarma ve yükleme noktaları da yüksek toz birikimi olan yerler olabilmektedir. Kömür tozu bulutu için alt patlama sınırı yaklaşık 70-80 g/m^3'tür. Bu değer kömürün tipine göre değişmektedir.

Sürekli bir kömür tozu patlaması çok büyük hasara neden olabilir; patlamanın hemen yakınında bulunan insanlar için gerçekte bir hayatta kalma şansı yoktur. Diğer bir tehlike ise, özellikle karbon monoksit (CO) olmak üzere, üretilen muazzam miktardaki zehirli gazlardır. Kömür tozu patlamalarının basıncı ve enerji içeriği o kadar büyük olabilir ki, hava yönünün tersine bir geri akıma neden olabilirler.

Bu nedenle, önleyici ve yapıcı tedbirlere ek olarak, oksijen kurtarıcıları ve CO filtresi kurtarıcıları gibi akut tedbirlerin sağlanmasını ve bunlara uyulması gerekli görülmektedir. Bu durum, grizu patlamaları ve kömür tozu patlamaları içinde aynı şekilde geçerli olmaktadır.

Bu nedenle yeraltı kömür madenlerinde patlamaya karşı koruma aşağıdaki tehlike kaynaklarıyla mücadele edecek şekilde tasarlanmalıdır:

- Grizu patlamaları (= metan gazı patlamaları)
- Kömür tozu patlamaları

Üç farklı koruyucu tedbir türü arasında temel bir ayrım yapılmaktadır:

- Önleyici tedbirler
- Yapısal önlemler
- Acil önlemler (Otomatik oksijen kurtarıcıları ve CO filtresi otomatik kurtarıcıları)

Bu bildirinin odak noktası yapıcı tedbirlerdir, bu nedenle akut tedbirler hakkında daha fazla ayrıntıya girilmeden önleyici tedbirlere karşı genel bir bakış açısı sunulacaktır.

1.2. Önleyici Tedbirler

Önleyici tedbirler esas olarak yakıt tedariğinden kaçınmak veya azaltmak ve ateşleme kaynaklarından kaçınmaktan oluşur. Önlemler metan gazı veya kömür tozu riskine göre değişmektedir.

Metan gazı patlamaları / Grizu patlamaları

Metan gazı patlamaları/Grizu patlamaları; için potansiyel ateşleme kaynakları şunlardır:

1. İçten yanmalı motorlar
2. Elektrik
3. Üretim veya Galeri açma çalışmaları sırasındaki kıvılcımlanma (taş üzerinde metal-metal)
4. Hatalı patlatma çalışmaları
5. Hatalı yakma ve kaynak işleri
6. Çoğunlukla terk edilmiş eski üretim panoları, örtülü/kendiliğinden yanan kömürler.

Listelenen tutuşma riskleri için önleyici tedbirler şunlardır:

1. Araçlara takılan CH_4 ölçme cihazları ve kritik sınır değerlere ulaşıldığında araçların kapatılması gibi tasarım önlemleri (örn. %1,5 CH_4).

2. Patlamaya karşı korumalı ekipman ve makinelerin kullanımı ve CH_4 içeriği için hava akımlarının izlenmesi ve kritik sınır değerlerin aşılması durumunda tüm ekipman ve elektrik tesisatlarının kapatılması ve böylece potansiyel ateşleme kaynaklarının ortadan kaldırılması.

3. İşleme aleti (kesme diski) üzerine su püskürtülmesi (Ayrıca tozu bağlamaya yardımcı olmaktadır).

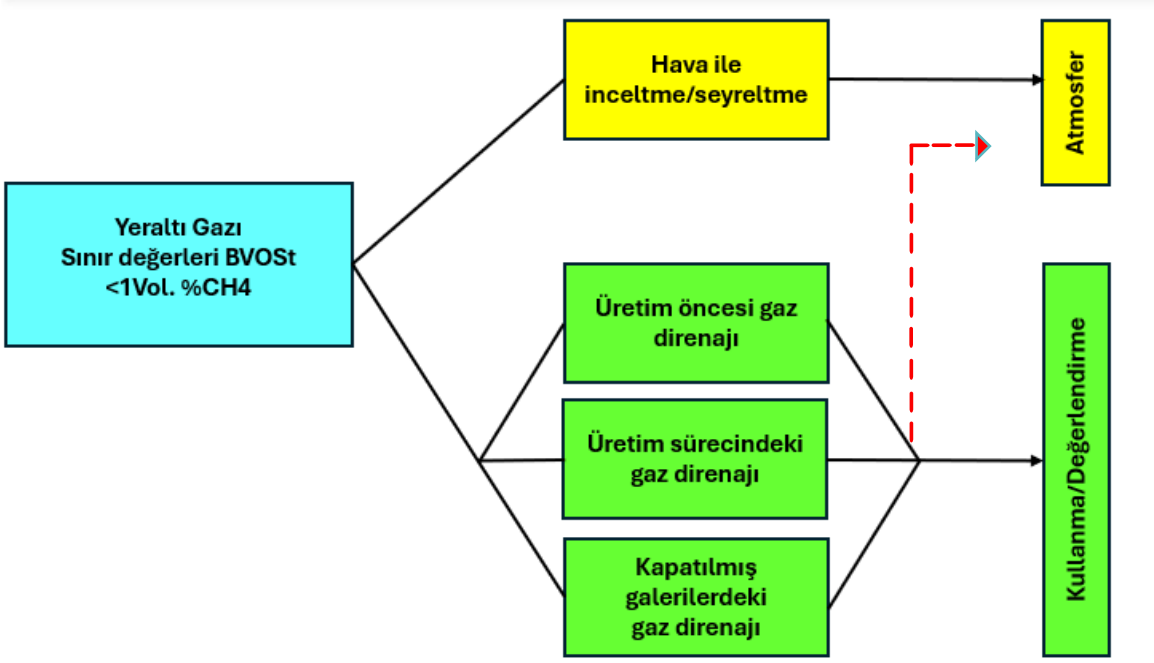
4. Organizasyonel önlemler alınması.

5. Etkilenen bölgenin inertleşmesi veya köpürmesi.

Yüksek oranda gaz içeren damarlara sahip madenlerde CH_4'in gerçekten

önlenmesi gerçekçi bir hedef değildir. Bu nedenle, önleyici tedbirler veya Metan'ın düşürülmesi esasen risklerin en aza indirilmesine ve kontrol edilmesine hizmet etmektedir. Yeraltı metan gazının kontrolünü bir şema ile açıklamak mümkündür (Şekil 2). Bu şemada yer alan kontroller;

- Gaz ön drenajı yani üretim öncesi gaz drenajı,
- Üretim sürecindeki gaz drenajı,
- Kapatılmış üretim panoları ve galerilerdeki gaz drenajı ve
- Metan gazlı ortamın hava ile yeterince seyreltilmesi (hava hızı, hava miktarı, özel havalandırma tasarımı, tali havalandırma)'dır.



Şekil 2. Yeraltı metan gazı kontrol şeması (Stöttner, M. T. 2003).

Kömür tozu patlamaları

Kömür tozu patlamalarının potansiyel ateşleme kaynakları çoğunluk olarak şunlar olmaktadır;

1. Grizu patlaması ve
2. Bazı durumlarda yapılan, hatalı dinamit atımları.

Ateşleme kaynaklarına karşı önleyici tedbirler şunlardır;

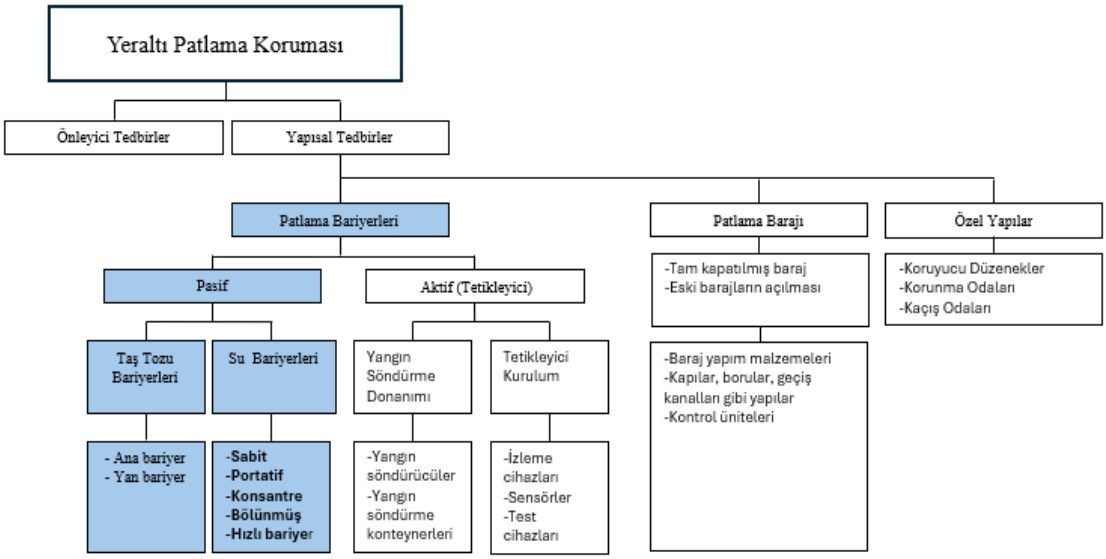
1. Grizu patlamalarının önlenmesi ve
2. Organizasyonel önlemler.

Kömür tozu için ateşleyici kaynaklardan kaçınma ve kömür tozunun en aza indirilmesine yönelik önleyici tedbirler aşağıdaki gibi sıralanmaktadır;

1. Oluşum ve tozlanmanın önlenmesi.
a) Kazı aletlerine su püskürtme (tamburlu kesici / galeri kesme makinası kafası, TSM).
b) Aktarma noktalarına su püskürtülmesi (bant transferleri/konveyör sistemleri/silo/kırıcı).
c) Toz emiciler (bant transferleri/bantlı konveyörler/silo/kırıcı).
d) Önceden planlama gibi teknik önlemler (daha az ince tanecik = daha az toz oluşumu), uzun konveyör bantlarında mümkün olduğunca daha az bant transferi, serbest düşüş yerine spiral düşüş.
2. Mevcut birikmiş kömür tozunun tehlike potansiyelinin azaltılması.
a)Temizleme.
b) Örneğin higroskopik tuz çözeltilerinin püskürtülerek tozun bağlanması işlemi.

1.3. Yapısal Önlemler - Pasif Patlama Koruması

Patlamadan korunmanın yapısal önlemleri, önleyici tedbirlerle önlenemeyen bir patlamanın yayılımının önlenmesini sağlar. Su bariyerleri, patlama alevini söndürmek, patlama basıncını ve patlama sıcaklığını düşürmek için belirli özelliklere göre kurumaktadır. Su bariyerleri hem metan gazı patlaması hem de kömür tozu patlaması durumunda ve bunların kombinasyonunda etkili olmaktadır. Yeraltında yapısal patlamaya karşı koruma önlemlerinin şematik bir özeti aşağıda verilmektedir (Şekil 3).



Şekil 3. Yeraltında yapısal patlamaya karşı koruma önlemlerinin şematik özeti (Michelis J. 1998).

Bu iki farklı önlem, birbirlerini tamamladıkları için yeraltı operasyonları için çok önemlidir. Madencilik dışındaki önleyici tedbirler yeterli olsa da yeraltı operasyonlarında derinlik kapalı galeri sistemleri, patlatma çalışmaları, hassas hava teknolojisi (havanın yeterince seyreltilmesi), değişen hava basınçları (gazın dışarı akış davranışı), değişen jeoloji (farklı gaz içerikleri), olası gaz rezervuarlarına sahip jeolojik faylar, söküm sürecinde geride kalan boşluklar ve risk altındaki operasyonlardan kaynaklanan gaz patlamaları gibi ek özel etkiler meydana gelebilmektedir. Olası bir kömür tozu patlamasının özellikleri, taşıma durumları ve hava hızları (kömür tozu uçuşması), yüksek oranda kömür tozu içeren kazı üretim tesisleri ve patlatma çalışmalarıdır.

Yeraltı madenciliğindeki bu tür ek tehlikeler, önleyici tedbirlerin tek başına yeterli olmadığı anlamına gelebilmektedir. Kapalı galeri sistemleri tehlikeli olan durumu daha da kötüleştirmektedir. Burada patlamalar ve basınç dalgaları, enerjilerini ve etkilerini azaltmadan yalnızca hareket yönünde yayılabilir. Bu, patlama olayının yerel bir alanla sınırlı olmadığı anlamına gelmektedir. Patlama olayı sırasında yalnızca birkaç saniye içerisinde gaz kilometrelerce yol alır ve

maden ocağı tahrip olur. Bunun sonucunda da maalesef madenciler vefat etmektedirler. Çeşitli ülkelerde bunun olumsuz örnekleriyle dolu uzun bir liste vardır. Bu nedenle bir patlama dalgasının yayılmasının durdurulması zorunludur. Sadece yapısal bir önlem olan ve şartnamelere uygun olarak monte edilen su bariyerlerinin kullanılması bunu mümkün kılmaktadır. Yeraltı ocaklarında patlamaya karşı korumanın kurulmaması bir alternatif değildir.

Bu durum, Hessen (Almanya) linyit madenciliği bölgesindeki Stolzenbach linyit madeni ocağı örneğiyle açıklanmaktadır. Burada olası bir patlamaya karşı, örneğin patlamaya karşı su bariyerlerinin yerleştirilmesi gibi hiçbir yapısal önlem alınmamıştır.

1 Haziran 1988 tarihinde meydana gelen ciddi bir kömür tozu patlamasında 50'den fazla madenci hayatını kaybetmiştir. Patlama aynı zamanda yer altındaki ve yer üstündeki tesislerde de ciddi hasara yol açmıştır. Patlamanın sonuçlarını önleyebilecek ya da etkisini azaltabilecek hiçbir patlama bariyeri kullanılmamıştır. Olaydan sonra maden ocağı kapatılmıştır (Şekil 4, Şekil 5).

Şekil 4. Stolzenbach linyit maden ocağı patlamadan sonra tahrip olan bölümü

Şekil 5. Patlamadan sonra Stolzenbach linyit madeninde tahrip olan yer üstü tesisleri

2. PATLAMAYA KARŞI PASİF KORUMA BARİYERLERİ İÇİN BUGÜNKÜ GEREKLİLİKLER

2.1. Farklı Ulusal Düzenlemelere Dayanan Yasal Gereklilikler

Aşağıda, öncelikli olarak bir karşılaştırma yapmak, sonrasında ise mevcut teknik varyantların çeşitliliğini göstermek için bazı ulusal yönetmelik örnekleri değerlendirilmiştir. Patlamaya karşı korunma yönetmelikleri, metan gazı ve kömür tozu patlamalarında yer alan fiziksel süreçlere ve ulusal test ve belgelendirme kuruluşlarının sonuçlarına dayanmaktadır.

2.1.1. Almanya

Almanya'da madencilik güvenliği ve madencilik sektörünün sorumluluğunu düzenleyen ulusal yasalar şunlardır; Federal Madencilik Kanunu (BbergG) ve Genel Madencilik Yönetmeliği (ABBergV) (Kuzey Ren-Vestfalya Eyaleti Maden Yüksek Dairesi 15 Nisan 1985 tarihli taşkömürü madenciliğinde su teknesi bariyerlerinin test edilmesine ilişkin yönetmelikleri), işletmeci şirketin

madencilik faaliyetlerini düzenlemektedir. AB EXkoruması için bu, 94/9/EC'nin yerini alan 2014/34/EU sayılı direktiftir. Ulusal düzeyde, yukarıda bahsedilen AB direktifleri DIN EN 14591-2 DIN standardı ile uygulanmaktadır (Koruyucu sistem pasif su bariyerleri için kullanım talimatları DIN EN 14591-2 AT tip inceleme sertifikası - 94/9/AT sayılı direktif). Bu DIN standardı, yapısal patlama koruması için sadece su bariyerlerin kullanımını öngörmektedir.

DIN EN 14591-2; üç tip su teknesi bariyeri kurulumu arasında bir ayrım yapmaktadır.

Konsantre su teknesi bariyerleri patlama noktasından itibaren 60 m'den 400 m'ye kadar uzanan alev koridoruna sahip, ancak 5 bar'lık statik basınçların aşılmaması gerekmektedir. Patlama alevi sönmeden önce alev cephesinin, bariyerin birkaç yüz metre ötesine kadar uzanabileceği dikkate alınmalıdır. Kurulum talimatları arasındaki birkaç tipik özellik şunlardır:
a. Minimum uzunluk 20 m.

b. Su hacmi en az 200 l/m^2 kesit ve en az 5 l/m^3 kesit hacmi.

c. Uzun galeride kurulum arası en fazla 400 m, Galeri kavşak geçişlerinde en fazla 75 m, Galeri sürümünde arından maksimum 320 m (ancak en fazla 200 m'sinin sürümden sonra olmasını zorunluluktur).

Bölünmüş su teknesi bariyerleri; delme patlatma ile geleneksel galeri sürümünde, mekanize galeri sürümünde ve üretim bölümlerinde kullanılmaktadır. Patlamanın başlama sürecinde ve devamındaki patlamalara karşı etkilidirler. Bu nedenle patlama alevinin hızına bağlı olarak ancak birkaç su bariyeri grubundan geçtikten sonra söndürülebileceği dikkate alınmalıdır.

Kurulum talimatları yer alan birkaç tipik özellik şunlardır:
a. Kurulum aralığı maksimum 3 m'yi geçemez.

b. İki su bariyeri grubu arasında en az 1 l/m^3 kesit hacminde ve en az 200 l/m^2 kesit enine su hacmi olmalıdır.

c. Bir sonraki su bariyeri grubuna veya konsantre su bariyerine olan mesafeler;

maksimum 30 m , galeri geçişlerinden ve kavşaklardan maksimum 30 m, üretim bölümlerinde ayağa mümkün olduğunca yakın, ancak maksimum 120 m mesafe ile sınırlı olmaktadır.

Hızlı etkili bariyerler, sadece maden kurtarma operasyonları için tasarlanmış özel bir tiptir. Tüm bariyer tipleri için kurulum grupları, kurulum noktasındaki galeri kesitinin en geniş noktasını kapsamalıdır. Bu kapsam kesişmesi aşağıdaki gibi olmalıdır;

Galeri kesitleri 10 m^2'ye kadar minimum %35, 15 m^2'ye kadar minimum 50% ve 15 m^2 üzerinde de minimum %60 olmalıdır.

2.1.2. Çekya

Bir AB üye ülkesi olarak 2014/34/EU sayılı direktif hükümleri Çekya için de geçerlidir. Bu nedenle, CSN EN 14591-2 ulusal standardının, birkaç istisna dışında, yukarıda sunulan Alman standardına içerik olarak çok benzer olması ve yine yukarıda belirtilen teknik tasarım düzenlemelerinin neredeyse aynı olması şaşırtıcı olmamaktadır. Bu nedenle o düzenlemeler bu başlıkta listelenmeyecektir. Bununla birlikte, Çek Madencilik Kurumu'nun 2009 yılında ulusal yönetmelikte değişiklik yaparak, bir araştırma ve geliştirme projesinde bir dizi testte su ile patlamadan korunması için uygunluğu kanıtlanmış yeni bir ürüne izin vermiştir.

Sunum ve sempozyumdaki genel amaç; yenilikleri sorumlu yöneticiler olarak sizlere daha da yakınlaştırmaktır. Bu amaçla Çekya'daki değişiklikten önce, burada açıklayıcı bir not, tarafımızca tam olarak yeniden yayınlanmak istenmektedir;

“Sonuç olarak, söz konusu değişiklik yeraltı kömür madenlerinde plastik torbalarla patlama bariyerleri kurulmasını yasallaştırmak amacıyla yapılmıştır. İlgili değişiklik, su torbalarından su patlama bariyerleri inşa edilmesini mümkün kılarak, patlama bariyerlerinin yapımında plastik torba kullanımının plastik su teknelerine göre daha kolay kurulumu, mevcut bariyerlerdeki su seviyesinin

kontrol edilmesi ve yeniden doldurulması için daha düşük maliyetler oluşabilmektedir. Bunun yanı sıra daha düşük depolama ücretleri ve boş plastik torbaların depoda daha az yer kaplaması da işletme maliyetlerinin azaltılmasına yardımcı olmaktadır.

Torbalar suyunun buharlaşmasını sınırlandırdığından, bu değişikliğin sadece su tanklarının yeniden doldurulması ihtiyacını azaltmakla kalmadığı, aynı zamanda bariyerde yetersiz miktarda su bulunması riski azaldığından, metan gazı patlamasının veya kömür tozu patlamasının diğer maden alanlarına yayılmasına karşı korumayı da artırdığı söylenebilmektedir. Sonuç olarak, ilgili değişiklik kömür madenlerinde ve gaz tehlikesi olan madenlerde iş sağlığı ve güvenliği ile işletme güvenliğinin iyileştirilmesinde yardımcı olacaktır. Aynı zamanda, olağanüstü olayların sonuçlarının da sınırlı olması beklenebilir, bu da iş sağlığı ve güvenliği ile operasyonel güvenliğin artmasına katkıda bulunmaktadır. Su bariyerlerinin bakımı için katlanılan işletme maliyetleri de yönetmeliğin gerektirdiği durumda azımsanmayacak ölçüde azalmaktadır."

Hem Almanya hem de Çekya, 2014/34/EU sayılı direktif başta olmak üzere AB düzenlemelerine tabidir. AB'nin hukuk felsefesinin merkezinde ekonomik operatörlerin sorumluluğu yer almaktadır. Bu, ürünlerin CE etiketi ile kullanıcı tarafından görülebilir hâle getirilen üreticinin uygunluk beyanını içermektedir. CE işaretli olmayan ürünlerin güvenlikle ilgili alanlarda kullanılması AB endüstrisinde artık düşünülemez. Burada 2014/34/EU sayılı direktiften tekrar bahsetmek gerekmektedir. Çünkü bu direktif kullanılabilecek koruyucu sistemlerin özelliklerine ilişkin detaylı düzenlemeler içermektedir. Yani koruyucu sistemlerin kendileri karşı herhangi bir tehlike oluşturmamalıdır. AB Direktifi Ek II'de malzeme özellikleri ele alınmakta ve Malzeme seçimi başlığı altında; "Ekipman ve koruyucu sistemlerin yapımında kullanılan malzemeler, öngörülebilir çalışma koşulları dikkate alınarak patlamaya neden olmamalıdır." ifadesi yer almaktadır. Malzemeler, özellikle korozyon davranışı, aşınma, elektrik

iletkenliği, mekanik mukavemet, yaşlanma direnci ve sıcaklık değişimlerinin etkileri açısından, özelliklerinde ve diğer malzemelerle kombinasyon halinde uyumluluklarında ki öngörülebilir değişiklikler, güvenlik açısından herhangi bir azalmaya yol açmayacak şekilde seçilmelidir. AB dışında özellikle elektrik iletkenliği hususunun genellikle dikkate alınmadığını bilindiği için, bu bölüme özellikle dikkat çekmek gerekmektedir. Yeterince iletken olmayan ve kalıcı bir hava akımına maruz kalan plastik bir nesne, yüzeyde çok hızlı bir şekilde elektrik yükü oluşturabilir ve bu da boşaldığında tutuşarak bir kıvılcım oluşturabilir. Bu nedenle Almanya'daki test yönetmelikleri, kullanılan malzemelerin yüzey direncinin 10^9 ohm'dan az olmasını şart koşmaktadır (su tekneleri için LOBA test yönetmelikleri). AB'nin yasal alanında, patlama bariyerleri için münferit bileşenler 2014/34/EU sayılı yönetmelik anlamında engel teşkil etmez ancak bunlardan kurulmuş, bitmiş su bariyerleri kabul görülmektedir. Bu, AB yasalarına göre maden işletmesinin patlamaya karşı su bariyeri üreticisi olduğu ve dolayısıyla CE etiketlemesinden de sorumlu olduğu anlamına gelmektedir.
Ancak CE işaretli bir su bariyeri için üretici/bu anlamda maden işletmesi, yalnızca elektrik iletkenliği gibi yukarıda listelenen tüm özellikler de dahil olmak üzere diğer AB düzenlemelerini karşılayan bileşenleri kullanabilmektedir.

2.1.3. Güney Afrika

Güney Afrika'da patlamadan korunma, en son Temmuz 2018'de yenilenen 1996 tarihli Maden Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (1996 tarihli 29 sayılı Kanun) ile düzenlenmektedir. Güney Afrika'da patlama bariyerleri hem su bariyeri hem de taş tozu bariyeri olarak onaylanmıştır. Su bariyerleri için ilginç bir şekilde 200 l/m^2 kesit değeri bulunmuştur. Taş tozu bariyerleri için, hafif ve ağır bariyerler arasında bir ayrım yapılabilir. Hafif bariyerler 100 kg/m^2, ağır bariyerler ise 400/m^2 taş tozu taşımalıdır. Burada üç ABD kurumuyla birlikte yürütülen bir araştırma projesi sonucunda bir yenilik getirilmiştir. ABD Lake

Lynn Deneysel Madeninde 1999 ve 2000 yıllarında yapılan denemelerin ardından, taş tozu bariyerlerinin inşası için plastik torbaların kullanımı Güney Afrika yönetmeliklerine dahil edilmiştir. 5 ve 6 kg lık torbalara izin verilmektedir. Kullanım ve maliyet avantajları da açıkça görülmektedir. Buna ek olarak, torbaların su geçirmez şekilde kapatılması taş tozunun topaklanmasını önlemekte ve böylece bariyerlerin işlevsel güvenilirliğini önemli ölçüde artırmaktadır (Maden ve Sağlık Güvenliği Konseyi, 2014).

2.2. Diğer Gereklilikler

Yasal gereklilikler esasen bugün piyasada mevcut olan teknik tasarımları belirlemektedir.

Bununla birlikte, kullanıcı için önemli bir rol oynayan maliyet etkinliği, lojistik ve bakım maliyetleri açısından pasif patlamaya karşı koruma gereksinimleri de vardır.

Ayrıntılı olarak, aşağıdaki kriterler patlama bariyerleri için önemlidir;

- Her zaman işlevsel olması,
- Söndürme işleminin etkili olduğuna dair kanıta sahip olması,
- Hat kesitine entegre edilmesinin kolay olması,
- Bakım gerektirmemesi,
- Kurulumunun kolay ve hızlı olması,
- Lojistik üzerindeki yükün en aza indirilmesi ve
- Uygun maliyetli olması.

Aşağıda, seçilen, yaygın olarak kullanılan sistemler kısaca sunulmakta olup bu kriterlere göre niteliksel olarak değerlendirilmektedir.

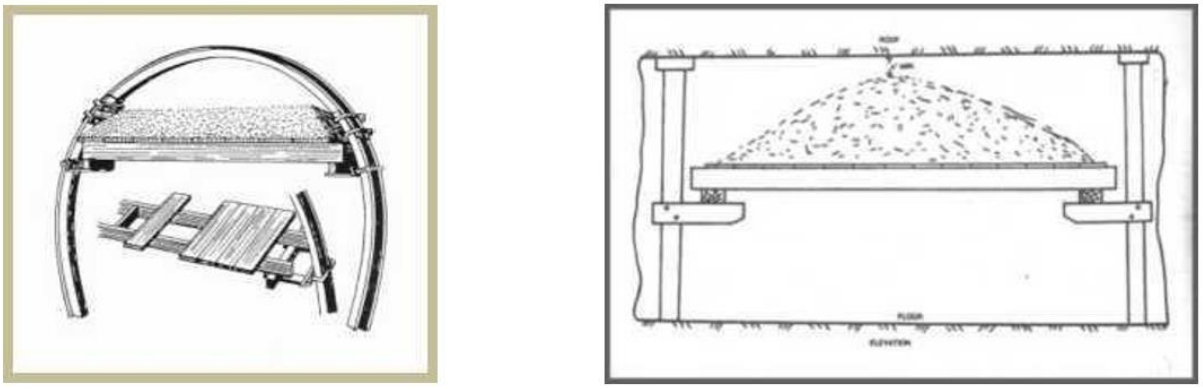
3. PATLAMAYA KARŞI PASİF KORUNMA SİSTEMLERİ

3.1. Geçmiş ve Gelişmeler

Patlamaya karşı pasif korunma bariyerleri olarak dünya çapında farklı

sistemler kullanılmaktadır. Taş tozu ve su medyum olarak kullanılır. Teknelerde taş tozu bariyerleri kullanılır.

1940'ların başında, açık ahşap platformlarda taş tozlu patlamaya karşı korunma bariyerleri kullanılmaya başlanmıştır (Şekil 6).



Şekil 6. Açık ahşap platformlar üzerinde kaya tozu bariyerleri

Buradaki dezavantaj, açık bir şekilde depolanan taş tozunun havalandırma ile uçuşması sebebiyle söndürme maddesi olarak tam etkin kullanılamamasıdır. Ayrıca, taş tozunun artan nemle birlikte "topaklanma" eğilimi göstermesi ve dolayısıyla gerekli özelliklerini kaybetmesi riski de vardır. Bu tür patlama bariyerlerinin kullanımını zorlaştıran diğer faktörler ise kapsamlı bakım gerektirmesinin yanı sıra esnek olmayan montaj seçenekleri ve kesit daralmasıdır.

1962'de Luisenthal maden işletmesinde meydana gelen ağır patlama kazası taş tozu bariyerlerinin sınırlarını göstermiş ve aynı zamanda su bariyerlerinin test edilmesini güçlendirmiştir.

Yukarıda açıklanan taş tozu bariyerlerinin dezavantajlarının fark edilmesine ve Tremonia test maden ocağındaki başarılı büyük ölçekli testlere paralel olarak, su bariyerleri 1964'ten itibaren yeraltı kullanımı için Almanya'daki maden yetkilileri tarafından onaylanmış ve maden işletmeleri tarafından uygulanmıştır. Tozun dezavantajları, su ile ortadan kaldırılmıştır.

Galeri kesitinde 200 l/m^2 su konsantrasyonuyla (örneğin 15 m^2 kesitli bir galeride), bir patlama dalgası meydana geldiğinde 200 ms içinde 3000 litre su

açığa çıkar. Bu durum ısıyı büyük oranda düşürür ve aynı zamanda çevredeki yakıtları tutuşma sıcaklığının altına soğutur. Bu etkili söndürme davranışı sayesinde su, Dünya çapında büyük ölçüde taş tozunun yerini almıştır (Şekil 7).

Su teknelerinin dezavantajları; taşıma ve lojistik, malzeme özellikleri (kırılganlık), kolay olmayan kurulum, buharlaşma ve bu nedenle çok bakım gerektirmesi, su dolum seviyesinin görülememesi ve dolayısıyla verimliliğin algılanamamasıdır. Ayrıca, maliyetler diğer sistemlere kıyasla nispeten yüksektir.

Şekil 7. Su tekneli patlama bariyeri

Dortmund Dr. Klaus Schulte GmbH şirketi, bu deneyime ve su teknelerinin dezavantajlarına dayanarak su torbası adı verilen patlamaya karşı koruma sistemini geliştirdi (Şekil 8). Bu gelişme, bir patlama dalgasının yayılmasına karşı optimum koruma sağlamak için bir ortam olarak suyun avantajlarını birleştirirken, aynı zamanda sert / kırılgan su teknesi bariyerlerinin dezavantajlarını da ortadan kaldırmıştır. İşlevselliği ve söndürme etkinliğini doğrulamak için yeraltı test ocaklarında çok sayıda patlama testi gerçekleştirilmiştir.

Şekil 8. Su torbaları ile patlama bariyeri

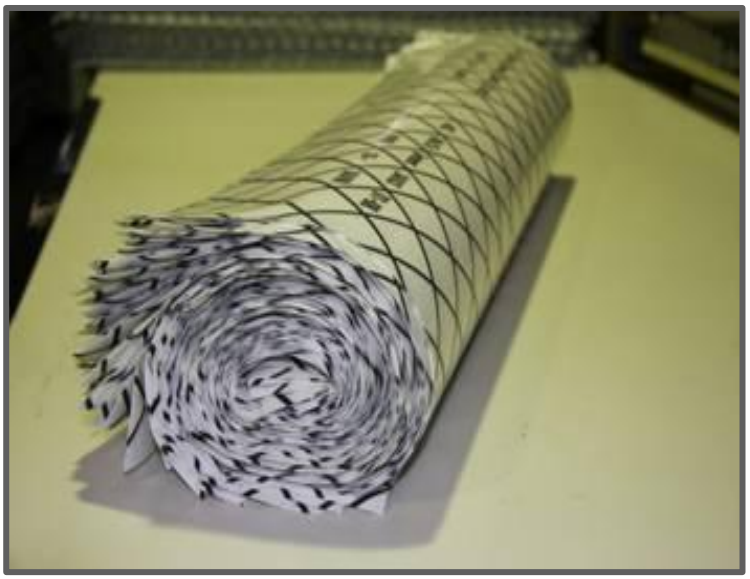
Dr Klaus Schulte GmbH'nin su torbaları, EN 14591-2:2007 AB standardı ile bağlantılı olarak en son gerekli elektrostatik standart EN IEC 80079-36:2016'ya uygun bir test sertifikasına sahiptir.

3.2. Sistemlerin Karşılaştırılması

Su tekneleri su torbalarına kıyasla lojistik dezavantajını spesifik bir örnekle açıklamak gerekmektedir. Aşağıdaki şekilde Türk madenciliğinde yaygın olarak kullanılan 45 litrelik su tekneleri görülmektedir (Şekil 9). Tekneler 10'lu paketler halinde paketlenmiştir ve her 10'lu paket 50 x 60 x 70 cm G (genişlik) x Y (yükseklik) x D (derinlik) boyutlarına ve 25 kg ağırlığa sahiptir. 3000 litrelik bir bariyer için bu teknelerden toplam 67 adet tekne gerekmektedir. Bu da nakliyede gösterilen 10 paketten 7'si anlamına gelmektedir.

Şekil 9. 10'lu paketler halinde paketlenmiş 45 litrelik su tekneleri

Aşağıdaki diğer bir şekil ise 100 adetlik bir rulodaki su torbalarını göstermektedir (Şekil 10). Bu su torbaları 40 litre alabilmektedir, dolayısıyla 3000 litrelik bir bariyer için bu su torbalarından 75 tane gerekmektedir. Gösterilen rulo G (genişlik) x Y (yükseklik) x D (derinlik) 20 x 14 x 75 cm boyutlarında ve 14 kg ağırlığındadır. Patlamadan korunmak için su tekneleri yerine su torbalarının kullanılmasının bir maden ocağının lojistiğine sağlayacağı avantajı tahmin etmek zor olmayacaktır.



Şekil 10. Rulo halinde 100 adet 40 litrelik su torbaları

Türkiye'de hem su tekneleri hem de su torbaları kullanan maden işletmelerinden alınan bilgilere göre; bariyer kurmanın toplam maliyeti, yani tedarik maliyetleri, lojistik ve kurulum çalışmaları, su torbaları için su teknelerine göre yaklaşık %50 daha azdır. 2024 yılında Çek madencilik şirketi OKD, 16 m^2'lik bir galeride su teknesi kurulumu inşa etmek için gereken vardiya da 6 personel, su torbalı bir kurulum için ise 4 personel gerekli olduğunu belirtmiştir.

2004 yılında Polonya'da yapılan bir incelemede taş tozu bariyerlerinin yapım maliyeti ile su torbası bariyerlerinin yapım maliyeti karşılaştırılmıştır. Bu karşılaştırma sonuçları aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir (Çizelge 1). Sonuç olarak, 14 m^2'lik bir galeride toz platformları yerine su torbası tercih edildiğinde,

patlamaya karşı koruma kurulumu için toplamda 7 gün kazanılmış olmaktadır.

Çizelge 1. Polonya'da 2004 yılında yapılan taş tozu, su torbası bariyeri karşılaştırması

Ulaştırma ve kurulum için gereken sürenin karşılaştırılması Toz platformu ve su torbası bariyeri WaTa® 14 m2 TH kesitli V-29/9 kemer uzantısındaki bariyerler için hesaplanmıştır (genişlik: 5,0 m, yükseklik: 3,5 m)			
No.	Bölüm	toz platformları (çalışma günleri)	Su torbası bariyeri WaTa® (iş günü)
1	Yükleme (yer üstü) Taşıma (yer altı)	(2) (4) 6	(0,2) ->1,8 az yer üsütü (0,8) -> 3,2 az yer alti 1
2	Kurulum (bariyer)	 11-12	(en kötü durumda 1 daha az) (en iyi ihtimalle 3 daha az) 8-10
3	Toplam =>	18 (17)	11 (9)
Sonuç: WaTa® su torbaları ile toz platformlarına kıyasla 7,0 iş günü (yeraltında 5,2 iş günü + yer üstünde 1,8 gün) tasarruf sağlanmaktadır			
Kaynak: Polonya'nın "Borynia" taş kömürü madeninde su torbası tipi patlamaya dayanıklı su bariyerlerinin kullanımı, GLÜCKAUF 140. yıl No. 11, 11.11.2004, sayfa 533			

3.3. Sistemlerin Karşılaştırılması ve Değerlendirilmesi

Sunulan sistemler, belirtilen gereklilikler ve geçmiş deneyimlerle ilişkili olarak değerlendirilmiş ve bu sonuçlar aşağıdaki çizelgede özetlenmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Sistemlerin karşılaştırılması

	Satınalma Maliyetleri	Lojistik Süreci	Kurulum Süreci	Bakım Süreci	Söndürme Etkinliği Kanıtı	Etkisizleştirme Etkisi	Soğutma Etkisi
Açık Taş Tozu Bariyerleri	+	--	-	--	--	+	-
Torbada Taş Tozu Bariyerleri	+	-	+-	+	-	+	-
Su Teknesi Bariyerleri (Olukları)	-	--	-	-	+	+	+
Su Torbaları	+	++	+	+	++	+	+

4. SONUÇ

Yeraltı kömür madenlerinde metan gazı ve kömür tozu oluşumu, sürekli olarak patlama riskini de beraberinde getirmektedir. Bu risk, önleyici ve yapıcı tedbirlerle bertaraf edilmektedir. 1988'de Borken-Stolzenbach linyit maden ocağında meydana gelen patlama, yeraltı kömür madenlerinde patlamaya karşı korumanın ihmal edilmesinin, maden ocağının tamamen tahrip olmasına ve tüm yeraltı işgücünün kaçınılmaz ölümüne yol açtığını göstermiştir. Bu kazadan sadece 6 madenci mucizevi bir şekilde kurtulmuştur. Yıllar içinde geliştirilen patlamaya karşı koruma sistemlerinin tasarımı, bu tür patlamalarda yer alan fiziksel süreçlere, test ocaklarında ve test galerilerinden elde edilen sonuçlara ve madencilik endüstrisinin bunun gibi geçmiş olaylarla ilgili deneyimlerine dayanmaktadır. Patlamaya karşı korunma konusunda farklı ulusal yönetmelikler olmasına rağmen, aktif ilkeler ve gerekli aktif madde miktarları genellikle çok benzerdir. Aktif bileşenler her zaman su ve taş tozudur. Luisenthal'de 1962 yılında meydana gelen ve taş tozu bariyerlerinin kullanılmasına rağmen 299 madencinin hayatını kaybettiği ciddi patlama sonrası, Almanya'da taş tozu bariyerlerinin kullanımı kademeli olarak azaltılmış ve su bariyerleri giderek daha fazla kullanılmaya başlanmıştır. Diğer ulusal yönetmelikler de son yıllarda yeni bulgulara dayalı olarak uyarlanmış ve örneğin Çekya ve Güney Afrika'da onaylı yapısal bileşenler listesine yeni ürünler eklenmiştir. Bunlar arasında hem taş tozu

bariyerlerinin inşası hem de su bariyerleri için kullanılabilen plastik torbalar bulunmaktadır. Bu ürünlerin başlıca avantajları; kullanım kolaylığı ve maliyet azlığıdır. Buna ek olarak daha az bakım gerektirirler ve tetiklendiklerinde etki olasılıkları daha yüksektir. Neredeyse tüm ulusal yönetmelikler yapısal patlama korumasında alternatiflere izin vermektedir. Bu bildiri yazısı, madenlerdeki karar vericilerin operasyonları için en iyi çözümleri bulmalarına yardımcı olmayı amaçlamaktadır.

KAYNAKLAR

Avrupa standardı DIN EN 14591-2 Yeraltı madenlerinde patlamadan korunma - Koruma sistemleri - Bölüm 2: Pasif su bariyerleri; Almanca versiyon EN 14591-2:2007.

Avrupa standardı EN IEC 80079-36:2016 Patlama riskli ortamlar –Bölüm 36: Muhtemel . patlama riskli ortamlarda kullanım için elektrikli olmayan ekipmanlar- Prensipler ve . gereklilikler (ISO 80079-36:2016)).

Çek Madencilik Kurumu (2009). Madencilik Yönetmelikleri XXV 361/2009 sayılı Kararname ile değiştirildiği üzere, patlamaya karşı korunma için taş tozu ve su bariyerlerinin kurulumu için teknik koşulları belirleyen Çek Madencilik Kurumu'nun 6 Aralık 1993 tarihli ve 10/1994 sayılı Kararnamesi.

Güney Afrika Cumhuriyeti Maden Kaynakları Departmanı (2020). Maden Sağlığı ve Güvenliği Yasası, 1996 (YASA NO 29 OF 1996) Kömür ocaklarında yanıcı gaz ve kömür tozu patlamalarının önlenmesi için zorunlu uygulama kurallarının derlenmesine ilişkin kılavuz.

Stolzenbach maden kazası: Hessisch/Niedersächsische Allgemeine, Tazminat 22 yıl sonra bile mümkün, 18.Ekim 2010.

Kuzey Ren-Vestfalya Eyaleti Maden Yüksek Dairesi 15 Nisan 1985 tarihli taşkömürü madenciliğinde su teknesi bariyerlerinin test edilmesine ilişkin yönetmelikleri (su teknesi test yönetmelikleri) Landesoberbergamt Nordrhein-Westfalen (1985).

Maden ve Sağlık Güvenliği Konseyi (2014). Yangın ve Patlamalara İlişkin Araştırma Proje Özetleri Derlemesi - 1994 - 2014 / Südafrika.

Madencilik dergisi Glückauf (2004). Polonya'daki 'Borynia' yeraltı kömür madeninde 'su torbası' tipi patlamaya karşı koruma bariyerlerinin kullanımı, Glückauf 140, Cilt No. 11, 11 Kasım 2004, sayfa 533.

Michelis J. (1998). Yeraltı madenciliğinde patlamadan korunma. Glückauf-Betriebsbücher Cilt 38. DMT Essen.

N-TV haber kanali GmbH, Sadece altı madenci kurtuldu: Borken maden kazası, 1 Haziran

1988Potansiyel patlayıcı ortamlarda kullanılması amaçlanan ekipman ve koruyucu sistemlere ilişkin AB'ye Üye Devletlerin yasalarının uyumlaştırılması hakkında 26 Şubat 2014 tarihli ve 2014/34/AB sayılı AVRUPA PARLAMENTOSU VE KONSEY DİREKTİFİ (yeni hali).

RAG-Aktiengesellschaft In maden kurtarma hizmetleri merkez ofisi (2010) Herne. Koruyucu sistem pasif su bariyerleri için kullanım talimatları DIN EN 14591-2 AT tip inceleme sertifikası - 94/9/AT sayılı Direktif - Patlama tehlikesi olan ortamlarda kullanılmak üzere tasarlanmış ekipman ve koruyucu sistemler BVS 06 ATEX H 016 X.

Stöttner, M. T. (2003). Ibbenbüren antrasit madeninde gaz çıkarımı ve kullanımı yoluyla metan azaltımı: Madencilik 5/2003, Makossa Druck und Medien GmbH, Gelsenkirchen.

YERALTI KÖMÜR OCAKLARINDA YANGINLI VE BARAJLANMIŞ SAHALARIN YENİDEN AÇILMASI

REOPENING OF SEALED DISTRICTS IN UNDERGROUND COAL MINES

Kemal Barış
Zonguldak Bülent Ecevit Üniversitesi, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Zonguldak

Nevzat Ünlü
Maden Mühendisi, Zonguldak

ÖZ: Yeraltı kömür ocaklarında yangın ve patlama riski madencilik tarihi boyunca önemli bir tehlike olmuştur. Barajlama, bu olaylarla mücadelede kullanılan önemli ve etkili bir yöntem olmasına karşın özellikle grizulu ocaklarda hem barajlama hem de barajların açılması sırasında ciddi patlama riskleri barındırmaktadır. Barajlanmış bir alanın yeniden açılabilmesi için, yeterli zaman geçip geçmediği, barajların sızdırmazlığı, barometrik basıncın etkisi, yanan malzemenin karakteri, yangının yaygınlığı, barajların yerleri, barajlanmış alanın büyüklüğü ve gaz bileşimi gibi faktörler değerlendirilmelidir. Yangın alanındaki CO konsantrasyonu, güvenli O_2 ve CH_4 konsantrasyonları da göz önünde bulundurulmalıdır. Barajlı bölgeyi yeniden açmadan önce detaylı bir plan hazırlanmalı, önceden hazırlanmış bir acil durum planına göre havalandırma uygun şekilde ayarlanmalı ve yeterli sayıda tahlisiyeci hazır bulundurulmalıdır. Yeraltı kömür ocaklarında barajlanmış saha atmosferlerinin değerlendirilmesinde Graham İndeksi, Young Oranı, CO/CO_2 Oranı, Willet Oranı, Jones-Trickett Oranı, Partington Oranı ve Litton Oranı gibi indeksler kullanılmaktadır. Atmosferin patlayabilirliğinin değerlendirilebilmesi için Coward-Jones diyagramı hazırlanmalı ve mevcut verilere göre sürekli olarak güncellenmelidir. Bu çalışma, yeraltı kömür ocaklarında kendiliğinden yanma/yangın/patlama gibi nedenlerle barajlanmış ocak kesimlerinin yeniden açılmasında dikkate alınması gereken kriterleri ve bir prosedür önerisini ele almaktadır.

Anahtar Kelimeler: Ocak yangını, barajlama, yangın indeksleri

ABSTRACT: The risk of fire and explosions in underground coal mines has been a significant hazard throughout the history of mining. While sealing is an important and effective method used to combat these incidents, it carries considerable explosion risks, especially in gassy mines, both during the sealing itself and when reopening the seals. To reopen a sealed-off area, factors such as

whether sufficient time has passed, the leak-tightness of the seals, the effect of barometric pressure, the character of the burning material, the extent of the fire, the location of the seals, the size of the sealed-off area, and the gas composition must be evaluated. CO concentration in the fire area, safe O_2 and CH_4 concentrations should also be considered. Before reopening the sealed-off area, a detailed plan must be prepared, ventilation must be adjusted appropriately according to a pre-prepared emergency plan, and a sufficient number of rescue personnel must be available. Indexes such as the Graham Index, Young Ratio, CO/CO_2 Ratio, Willet Ratio, Jones-Trickett Ratio, Partington Ratio, and Litton Ratio are used in the evaluation of sealed-off area atmospheres in underground coal mines. To evaluate the explosibility of the atmosphere, a Coward-Jones diagram should be prepared and continuously updated according to the available data. This study addresses the criteria to be considered when reopening sealed-off mine sections due to reasons such as spontaneous combustion/fire/explosion in underground coal mines and proposes a procedure.

Keywords: *Mine fire, sealing, fire indices*

1. GİRİŞ

Yeraltı kömür ocaklarında madencilik tarihi boyunca süregelen ocak patlaması ve yangın riski günümüzde de önemli bir tehlike olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu nedenle, yeraltı kömür endüstrisinde görev alan tüm teknik personelin kendiliğinden yanma, yangın ve patlamaların mekanizması, tespiti, önlenmesi ve bu olaylarla mücadele yöntemleri konularında bilgi sahibi olmaları gerekmektedir. Yeraltı kömür ocaklarında bu olaylarla mücadele yöntemleri arasında özel öneme sahip olan barajlama yöntemi, özellikle grizulu kömür ocaklarında hem barajların kapatılması hem de açılması sırasında ortaya çıkabilecek patlama olasılığı nedeniyle ciddi riskleri bünyesinde barındırmaktadır. Ancak, bu risklere rağmen barajlama yöntemi hem dünyada hem de ülkemizde kendiliğinden yanma, ocak yangını ve patlama olaylarının kontrol altına alınmasında sıklıkla ve etkili bir şekilde uygulanan bir yöntem durumundadır. Bu yöntemde mevcut risklerin azaltılması için yapılacak tüm işlemler, ocağı ve olayların mekanizmasını iyi bilen, olayların tespiti ve

mücadelesinde tecrübeli bir ekip tarafından titizlikle yürütülmeli, bilimsel tüm veri ve değerlendirmeler dikkatli bir şekilde kullanılmalıdır.

Bu çalışma Türkiye yeraltı kömür ocaklarında kendiliğinden yanma/ocak yangını nedeniyle barajlanan sahaların yeniden açılmasında dikkate alınması gereken kriterleri ele almakta ve bu tür durumlarda barajlanan sahaların açılması ile ilgili bir prosedür önermektedir.

2. BARAJLANMIŞ BİR ALANIN TEKRAR AÇILABİLMESİ İÇİN DEĞERLENDİRİLMESİ GEREKEN FAKTÖRLER

Yeraltı ocaklarında yangın nedeniyle barajlanmış bir alanının tekrar açılabilmesi için değerlendirilmesi gereken birçok faktör bulunmaktadır. Bu faktörler tecrübeli ve bilgili bir ekip tarafından derinlemesine değerlendirilmelidir. Yeniden açma denemesinden önce cevap verilmesi gereken sorular aşağıda sıralanmıştır.

2.1. Yeniden Açılma Tarihine Kadar Yeterli Zaman Geçip Geçmediği

Yangın nedeniyle barajlanmış bir sahada denge koşullarının oluşabilmesi için belirli bir süre geçmesi gerekmektedir. Bu süreyi etkileyebilecek birçok faktör bulunmaktadır. Barajlama ve yeniden açma girişimi arasında geçen süreyi etkileyen temel faktörler şunlardır:

*2.1.1. **Barajların sızdırmazlığının tam olarak sağlanıp sağlanamadığı***

Pratikte barajlarda kaçak olmaması imkânsız olmakla birlikte barajların mümkün olan en az ölçüde kaçağa izin verecek şekilde inşası bir ocak yangınıyla mücadelede en gerekli koşullardan biridir. Barajlar kapatıldıktan sonra barajların bağlı olduğu hava yollarından geçen hava miktarının düşürülerek basınç farkının azaltılması da kaçakların önlenmesi açısından önemli bir etkendir. Baraj arkasından alınan gaz örneklerinde oksijen içeriğinin sabit bir şekilde azalması

gerekmekte iken durum böyle değilse bu durumda barajların sızdırmazlığının sağlanamadığı şeklinde yorum yapmak güç olmayacaktır.

2.1.2. ***Barometrik basıncın barajlanmış alan üzerindeki etkisi***

"Nefes alma" olarak adlandırılan ve havanın ocak içine ya da dışına hareket etmesine neden olan barometrik basınç, barajlar üzerinde önemli bir etkiye sahip olabilmektedir. Eğer barometrik basınç barajın arkasındaki basınçtan yüksek olursa bu durumda barajlanmış bölgeye doğru hava kaçağı artmakta ve eğer tersi durum olursa baraj arkasından ocak dışına doğru kaçak ortaya çıkmaktadır. Bu bakımdan sıcaklık da önemli bir rol oynamaktadır. Bir gaz ya da havanın sıcaklığındaki artış ve azalış nedeniyle hacim ve basıncın arttığı ya da azaldığı bilinmektedir. Bu nedenle, ocak dışındaki havanın ısınması ya da soğuması nedeniyle ocakta dolaşan havanın hacminin ve basıncının artacağı ya da azalacağını, sonucunda ise baraj üzerinde ocak içine ya da dışına doğru basınca (eğer dış sıcaklık düşükse içeri doğru, yüksekse dışarı doğru) neden olacağını öngörmek mantıklı olacaktır.

Barajlanmış bölgedeki sıcaklık da basıncın yönü açısından önem arz etmektedir. Barajlanmış bölgedeki bir yangın söndüğünde ve soğuma devam ederken, barajlanmış bölgedeki sıcaklık ve basınç azalacak ve bu da baraj önü ve arkası arasındaki basınç farkı eşitlenene kadar baraj önünden baraj arkasına doğru bir basınca neden olacaktır.

2.1.3. ***Yanan malzemenin ve üzerindeki tabakaların karakteri***

Yanan malzemenin karakteri, yanma hızı ve gaz bileşimindeki değişim, barajlı bölgeye havanın yeniden verilmesi sonucu yeniden yanmayı etkileyebilmektedir. Yüksek uçucu madde içeriğine sahip kömürler düşük uçucu madde içeriğine sahip kömürlere göre yeniden yanmaya daha yatkındırlar. Bunun yanında yanan bölgenin tavanında bulunan tabakalar barajların yeniden

açılmasında etkin rol oynayabilmektedir. Örneğin, yangınlı bir bölgenin üzerinde bulunan bitümlü bir şeyl tabakası, oksijen konsantrasyonu bir yanmaya müsaade etmeyecek seviyeye düşse dahi uzun süreler ısıyı tutabilmektedir. Yangınlı bir bölgede oksijen konsantrasyonunun %3'ün altına düşmesinden sonra 30 gün sıcak kalan böylesi tavan tabakalarının bulunduğu durumlar mevcuttur (Forbes ve Grove, 1938).

*2.1.4. **Yangının ilk çıktığı alanın yaygınlığı ve yangın yoğunluğu***

Ocakta yangının ilk çıktığı alanın büyük ve yangın yoğunluğunun yüksek olması yangının kontrol altına alınana kadar ocağın diğer bölgelerine yayılma ihtimalini ve dolayısıyla sönme süresini arttırmaktadır.

*2.1.5. **Ocak havalandırmasına göre barajların yerleri***

Ocaktaki havalandırma sisteminin barajlar üzerindeki etkisi göz önüne alındığında barajların yerleri önem arz etmektedir (doğal havalandırma yönü, havalandırma basıncının etkisi vb.).

*2.1.6. **Barajlanmış alanın büyüklüğü***

Genel olarak barajlanmış büyük bir alanı açmak daha küçük bir alanı açmaktan daha fazla zaman gerektirir. Bu durum özellikle barajlanmış büyük bir alanda kötü yerleştirilen barajlar bulunduğunda daha da önemlidir.

*2.1.7. **Yangın alanındaki gazların bileşimi***

Barajlanmış bir bölgedeki gazların bileşiminin belirlenebilmesi için uygun şekilde örnekleme ve analizlerin doğru yapılması büyük öneme sahiptir. Örnekleme, basıncın yönü baraj arkasından baraj önüne doğru (ocak içinden ocak dışına doğru) olduğu durumda yapılmalıdır. Yani örnekler ocağın genel havalandırmasında aspiratöre daha yakın olan hava dönüş barajından alınmalıdır.

Basıncın baraj önünden baraj arkasına doğru yapılması durumunda alınan örnekler barajlanmış alandaki atmosferi doğru temsil etmeyecektir. Genellikle hava giriş yönündeki barajlardan alınan örneklerde oksijen oranı daha yüksek, yangın gazları ise daha düşük olmaktadır.

Yangın alanındaki gazların bileşiminde ve oransal değişim sürecinde; kapalı alanda yaşanan kimyasal reaksiyonların yanı sıra inertizasyon işleminde kullanılan gazların türü ve miktarı da etkili olmaktadır.

2.2. Yangın Alanındaki CO Konsantrasyonu

Kömürün yavaş oksidasyonu ve tam yanmanın gerçekleşmediği durumlar CO (karbon monoksit) üretmektedir. Yangının seyri hakkında çok önemli bilgiler sağladığından CO konsantrasyonlarının dikkatle izlenmesi gerekmektedir.

2.3. Yangınlı Bölgeyi Açmak İçin Güvenli O_2 ve CH_4 Konsantrasyonları

Gazlı damarların bulunduğu yangınlı bir bölge barajlanarak kapatıldığında, barajlı bölgede O_2 konsantrasyonu azalırken CH_4 konsantrasyonu artmaktadır. Bu durumda karışımın patlayabilirliği Coward-Jones diyagramına göre değerlendirilmektedir. Bu diyagrama göre; karışımdaki O_2 miktarını %12,4'e düşürecek şekilde böylesi bir absorpsiyonun olduğu bir durumda CH_4'ün üst patlama sınırı, alt patlama sınırı ile kesişmekte (%6,5 CH_4 – Karışım uç noktası) ve böylece patlama imkansız hale gelmektedir.

Az miktarda CH_4'ün salındığı bir alanda ise CH_4 konsantrasyonu %6,5'a ulaşmadan oksijen konsantrasyonu %12,4'ün altına düşeceğinden, patlayıcı bir karışım neredeyse hiç ortaya çıkamamakta ve dolayısıyla ise bir gaz patlama riskinden söz edilemeyecektir. CH_4 konsantrasyonu %15'in üzerine çıktığında ise O_2 konsantrasyonu zaten %12,4'ün altına düşeceğinden yine bir patlama riskinden söz edilememektedir. Barajların açılması kararının verilebilmesi için O_2 konsantrasyonunun en az %3'ün altında hatta tercihen %1 altında olması, daha

düşük konsantrasyonların barometrik basınç değişimleri ya da kaçaklar nedeniyle gazın seyrelmesi riski açsından daha güvenli olması nedeniyle, daha uygun olacaktır.

Açılma kararı verilecek panodan alınan örneklerde CO bulunmamalıdır. O_2 konsantrasyonunun ise %2'nin altında olması en ideal durumdur.

E.K.İ. Kozlu Bölgesinde alevli yangınla kapatılan ve çıkış barajlarından alınan numunelerin analiz değerlerine göre yeniden üretime açılan bazı panolara ait hava analiz sonuçları Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Alevli yangınla kapatılan bazı bölgelerdeki çıkış barajından alınan örnek değerleri (Dündar vd., 1977).

Tarih	Örnekleme yeri	O_2 %	CO_2 %	CH_4 %	CO
13.12.1963	+ 5 Barajı	0,9	1,6	36,6	Yok
13.12.1963	- 200/22545 Barajı	1,8	1,8	52,2	Yok
18. 2.1966	- 200/22503	2,4	8,1	6,6	Yok
12. 3.1976	- 200/22503	2	12	4,5	Yok

Kapatılan bir barajın arkasındaki yangının sönmüş kabul edilmesi için; O_2 konsantrasyonu %5'den az, CH_4 ve CO_2 konsantrasyonlarının yüksek olması, ısının düşük olması, herhangi bir buhar ve duman izine rastlanmaması gerekir. (ÇSGB, 2011)

Gaz analizleri yorumlanırken, aktif yangının normal olarak O_2 konsantrasyonu %12'nin altına düştüğünde duracağı ancak alevsiz yanma ve ısı oluşumunun (CO ve CO_2'nin oluşumu ile birleşen) %5 O_2 ile hatta bazı durumlarda atmosferde %2 O_2 kaldığında bile devam ettiği hatırlanmalıdır (Strang ve MacKenzie-Wood, 1985).

Strang ve MacKenzie-Wood (1985) tarafından rapor edilen ve barajlardaki örnek borularından alınan numunelerin analiz sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. 58 günlük süre sonunda yangının artık aktif olmadığı anlaşılmakta ve esasen durumun 41. günden itibaren bu şekilde olduğu yorumlanmaktadır.

13/8/1984 tarihli Bakanlar Kurulu Kararı ile yürürlüğe giren Maden ve Taş Ocakları İşletmelerinde ve Tünel Yapımında Alınacak İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği Önlemlerine İlişkin Tüzük Madde 232 gereğince TTK tarafından yayımlanan, "*Yangın Barajlarının Açılması Hakkında Yönerge*"nin 2. Maddesine göre, kapatılan barajın arkasındaki yangının sönmüş kabul edilebilmesi için;

- O_2 %5'den az,
- CO olmaması,
- CH_4 ve CO_2 konsantrasyonlarının yüksek olması,
- Isının düşük olması, herhangi bir buhar ve duman emaresi olmaması,
- Yangınlı sahanın soğuması için yeterli sürenin geçmiş olması gerekir.

Tüzük 16.06.2014 tarihli Bakanlar Kurulu Kararı ile yürürlükten kaldırılana kadar TTK işyerlerinde, kapatılan barajların açılmasında bu madde hükümleri uygulanmıştır.

Çizelge 2. Barajlarda bulunan örnek borularından alınan örnek analiz sonuçları (Strang ve MacKenzie-Wood, 1985).

Barajlamadan sonra geçen gün	CH_4 (%)		O_2 (%)		N_2 (%)		CO_2 (%)		CO (%)	
	Giriş	Dönüş	Giriş	Dönüş	Giriş	Dönüş	Giriş	Dönüş	Giriş	Dönüş
1	0,19	1,8	20,7	19,7	78,9	78,1	0,12	0,35	0,000	0,025
3	4,50	9,5	19,3	16,3	75,9	73,2	0,35	0,36	0,005	0,400
6	9,60	26,4	17,8	14,6	72,1	58,5	0,43	0,50	0,006	0,060
9	35,00	56,5	12,5	8,3	52,1	34,8	0,39	0,38	0,006	0,010
17	42,00	78,0	11,0	0,0	46,4	21,3	0,34	0,20	0,004	0,005
22	59,00	90,0	8,0	0,0	32,7	10,0	0,30	0,00	0,003	0,000
41	65,00	92,0	5,4	0,0	29,1	8,0	0,15	0,00	0,002	0,000
52	70,00	93,0	3,0	0,0	26,4	7,0	0,10	0,00	0,000	0,000
58	89,00	95,0	0,0	0,0	11,0	5,0	0,00	0,00	0,000	0,000

2.4. Yangınlı Alanda CO_2 Varlığının Etkisi

Kömür yangınları da dahil olmak üzere her türlü yanma sonucunda CO_2 açığa çıkmaktadır. CO_2 konsantrasyonu kadar yangın üzerinde oldukça az etkili

olmasına rağmen, alanın patlayıcı olup olmadığının belirlenmesinde dikkate alınması gereken bir faktördür. Ayrıca yangının seyri hakkında değerlendirme yaparken özellikle CO değerlerindeki değişimlerle birlikte yorumlanması daha isabetli olacaktır.

2.5. Barajlı Bölgeyi Yeniden Açmak Ne Zaman Güvenlidir?

Analizler, yangınlı bölgedeki CO konsantrasyonlarının ocakta normal koşullarda bulunan konsantrasyonlara eşit olduğunu işaret ettiğinde ve barajlı bölgedeki sıcaklık ocağın diğer kesimleriyle aynı ise aktif bir yangının devam etmediği kanaatine varılabilir. Yangın bölgesi soğuduğunda artık CO oluşmamakta ve CO_2'ye oksitlenerek yavaşça atmosferden kaybolmaktadır (Strang ve MacKenzie-Wood, 1985). Ancak, çoğu durumda barajların açılabilme kararının verilebilmesi için bu bilgi tek başına yeterli olmamakta ve daha kapsamlı inceleme ve analizlerin yapılmasına gerek bulunmaktadır.

2.6. Barajlanmış Bölgenin Yeniden Açılmasından Önce Hangi Hazırlıklar Yapılmalıdır?

Barajlanmış bir bölgenin açılmasında önce yapılması gereken hazırlıklar aşağıda genel hatlarıyla maddeler halinde sunulmuştur.

(a) Tam detaylı bir plan hazırlanmalı ve ilgili kişilerce bu plan üzerinde mutabık kalınmalıdır.

(b) Ocak acil durum eylem planı uygulamada olmalıdır. Geçici tahlisiye istasyonları oluşturularak yeterli sayıda tahlisiyeci ve teçhizat hazır bulundurulmalıdır.

(c) Havalandırma, yeterli miktarda hava sağlayacak şekilde ayarlanmalı ve havanın barajlı alan içinden geçerken herhangi bir potansiyel ateşleme kaynağı üzerinden geçmemesi sağlanmalıdır.

(d) Yeniden açılan alandan gelen hava en kısa yoldan yüzeye ulaştırılmalıdır.

(e) Hava dönüş yolları ısınma ya da kıvılcım kaynakları açısından dikkatlice incelenmeli ve barajlanmış alanın hava dönüş tarafındaki elektrik kesilmelidir.

(f) Barajın açılması için kullanılacak tüm ekipman alev sızdırmaz (exproof) özellikte olmalıdır.

(g) Yeraltında mümkün olan en az sayıda personel bulunmalıdır.

(h) Yangınlı alanda yeniden ısınma olup olmadığı sürekli olarak izlenmelidir.

(ı) Barajlara yakın bölgelere bolca taş tozu serpilmelidir.

(i) Barajlı bölgeler arasında sürekli iletişim sağlanmalıdır.

(j) Barajların yeniden kapatılması ihtimali dikkate alınarak yeterli malzeme temin edilmeli ve hazır bulundurulmalıdır.

3. YERALTI KÖMÜR OCAKLARINDA BARAJLANMIŞ BÖLGELERDEKİ OCAK ATMOSFERİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bir yeraltı kömür ocağında, kömürün oksidasyonu ve yangın durumlarında oksidasyonun/yangının ilerleme durumuna, kömür sıcaklığına ve hangi tür malzemelerin yandığına bağlı olarak başta CO_2, CO, CH_4, H_2 ve diğer hidrokarbonlar gibi çok çeşitli gaz ürünler açığa çıkmaktadır. Oksidasyonun ilk ve ana ürünü CO_2 olsa da bu gaz, diğer kaynaklardan (dizel egzozlar, insan solunumu, eski imalatlar, suda çözünmüş halde bulunma vb.) da ocak atmosferine yayıldığından ve ocakta zaten bir arka plan konsantrasyonu oluşacağından kendiliğinden yanmanın izlenmesi açısından tek başına kullanılamamaktadır. Bunun yanı sıra, CO dışındaki diğer gazlar ise oksidasyonun ilerlediği ve kömür sıcaklıklarının yüksek olduğu durumlarda ortaya çıkmaktadır. Ancak bu sıcaklıklardan sonra kendiliğinden yanmanın çok hızlı ilerlemesi söz konusu

olacağından bu gazlar da erken tespit için kullanılamamaktadır. Örneğin C_2H_2 (etilen) iyi bir kendiliğinden yanma indikatörü olmasına rağmen bu gaz ancak kömür sıcaklığı 100°C civarında ve üzerinde olduğu durumlarda ocak atmosferinde tespit edilebilecektir. Bunun yanında yeraltı ocaklarında bulunan ve çok çeşitli amaçlar için kullanılan ahşap, plastik, lastik, pvc vb. gibi birçok malzeme bulunmaktadır. Yapıları gereği bu tür malzemelerin yanması sonucunda farklı gaz ürünler de oluşabilmekte ve ocak atmosferine salınabilmektedir.

Yukarıda sayılan sebeplerin yanı sıra, gaz konsantrasyonlarının tek başına bir ısınma, yangın ya da kendiliğinden yanma belirtisi olarak değerlendirilmesinde de çeşitli sorunlar ortaya çıkmaktadır. Örneğin CO oksidasyonun ve yangının her aşamasında ortaya çıktığından; sadece CO konsantrasyonunun izlenmesi ile olayın yaygın ve uzun süreli bir durum mu yoksa küçük bir alanda çok daha yoğun bir durum mu olduğunu ayırt etmek olanaklı değildir. Dolayısıyla, tek bir gazın izlenmesi oksidasyon/yangının yoğunluğu hakkında bilgi vermemektedir. Ayrıca, çeşitli gazların ortamda bulunması nedeniyle diğer bir gazın konsantrasyonu seyrelmekte ve bazı durumlarda tespit edilebilir seviyelerin altına düşmekte ve bu da olayın boyutunun tespitini zorlaştırmaktadır.

Yukarıda bahsedilen sebeplerden dolayı çeşitli gaz konsantrasyonları kullanılarak ocak atmosferinin değerlendirilmesine yönelik olarak çeşitli indeksler geliştirilmiştir. Bu indeksler genel itibariyle;

(i) Ocakta bir oksidasyon ya da yangının olup olmadığının,

(ii) Yangın varsa hangi maddenin yandığının,

(iii) Oksidasyon/yangın nedeniyle bir ocak kesimi barajlandıktan sonra oksidasyon/yangının devam edip etmediğinin,

(iv) Barajlanan bir bölge açıldığında havalandırma nedeniyle açılan ocak kesiminde patlayıcı bir ortamın oluşup oluşmayacağının tespiti için kullanılmaktadır.

Yeraltı kömür ocaklarında barajlanmış saha atmosferlerinin değerlendirilmesinde dünyada yaygın olarak kullanılan indeks ve oranlar aşağıda ayrı ayrı sunulmuştur.

3.1. Graham İndeksi (Oranı)

Graham İndeksi, özellikle gazların seyrelmesinden dolayı ortaya çıkan etkinin ortadan kaldırılması açısından güvenilir bir indekstir. Bu indeks okside olan kömürün sıcaklığı ile yakından ilişkilidir ve değeri kömürün sıcaklığı arttıkça artmaktadır. Graham İndeksi Eşitlik 1 ile hesaplanabilir.

$$GI = \frac{CO}{(0,265N_2) - O_2} x100 \qquad (1)$$

Burada; CO, karbon monoksit konsantrasyonunu (%) ve $(0,265N_2)$-O_2 ise oksijen azalmasını (%) temsil etmektedir. Genel itibariyle Graham indeksinin artması bir oksidasyona işaret etmekle birlikte uluslararası tecrübelere göre indeks değerleri Çizelge 3'e göre değerlendirilmektedir.

Çizelge 3. Graham İndeksi değerleri ve yorumu.

Graham İndeksi	Yorum
< 0,4	Normal
0,4 – 1,0	İncele
> 1,0	Kızışma
> 2,0	Ciddi Kızışma/Yangın

Graham indeksinin avantajı oksidasyon/yangın bölgesindeki atmosferin, hava ya da CH_4 gibi bir gazla seyrelmesinden etkilenmemesidir. Zira böyle bir durumda hem pay hem de payda eşit olarak etkilenmektedir. Ancak bu indeks yangının yoğunluğu hakkında bilgi sağlarken okside olan/yanan malzemenin miktarı ile ilgili bir bilgi sağlamamaktadır (Banerjee, 1985). Bir başka deyişle 1 kg kömürün 200°C'de yanmasıyla, 1000 ton kömürün 200°C'de yanması sonucu

aynı Graham indeks değeri elde edilmektedir. Bu indeks oksijen azalmasının %0,3'ten daha az olduğu durumlarda güvenilir değildir (McPherson, 1993). Esas itibariyle bu durum oksijen azalmasının kullanıldığı tüm indekslerde geçerlidir.

Çoğu uzunayak panosunda fark edilir oranda oksijen azalması olmamasına rağmen panoya ait tüm hava dönüş yollarında Graham İndeksi'nin izlenmesi Queensland ve New South Wales Yönetmeliklerinde (Avustralya) mecburi tutulmuştur (MDG-1006, 2011, NSW Government, 2022).

3.2. Young Oranı

Young oranı yapısı itibariyle Graham indeksine oldukça benzemekte, ancak bu oranda eşitliğin pay kısmında CO yerine CO_2 konsantrasyonu kullanılmaktadır. Oksidasyon/kendiliğinden yanma olaylarında CO_2, CO'ya göre çok daha fazla miktarda oluştuğundan eşitliğin 100 ile çarpılmasına gerek bulunmamaktadır. Bu durumda Young Oranı birimsiz olmaktadır. Ayrıca, normalde atmosferde de belirli bir miktar (yaklaşık %0,04) CO_2 bulunduğundan bu miktarın da ölçülen CO_2 konsantrasyonundan çıkarılması gerekmektedir (Eşitlik 2).

$$GI = \frac{CO_2 - 0,04}{(0,265N_2) - O_2} \tag{2}$$

Burada; CO_2, oluşan karbondioksit konsantrasyonu (%) ve $(0,265N_2)$-O_2 ise oksijen azalmasını (%) temsil etmektedir.

Bu oranın yorumlanmasında Graham İndeksi'nde olduğu gibi belirli aralıklar bulunmamaktadır. Bunun nedeni ise oksidasyon/kendiliğinden yanma sonucunda oluşan CO_2 miktarının büyük oranda kömüre bağlı olmasıdır.

Kendiliğinden yanma olayları açısından Young İndeksinin yükseldiği ve yükselmeye devam ettiği durumlarda yangının açık alevliye döndüğü ve sıcaklığın ya da yanıcı madde miktarının (kömür miktarının) arttığı söylenebilir.

Açık alevli yanma olmayan baraj arkalarında Young oranı önce artacak fakat zamanla sabitlenecektir.

3.3. CO/CO_2 Oranı

Bu oran, bir yangının ilerlemesinin değerlendirilmesinde kullanılan ve diğer çoğu indeks/oranın aksine, özellikle oksijen azalmasına bağımlı olmaması yönünden kullanışlı bir orandır. Oran, yangının ilk aşamalarında yükselme ve alevli yangın durumlarında ise sabit kalma eğilimi göstermektedir. Ancak CO/CO_2 oranı, yangının yakıtça zengin hale geldiği, dolayısıyla CO'nun ana ürün olduğu ilerleyen evrelerde tekrar yükselişe geçmekte ve bu durumu oldukça iyi gösterebilmektedir. Mitchell (1990) CO/CO_2 oranı değerlerinin 0,5'e yaklaştığında bir alevli yangın beklenebileceğini ifade etmesine rağmen diğer durumlar için evrensel değerler bulunmamaktadır. Dolayısıyla her ocak için kömür sıcaklığına bağlı olarak bu oranın "*normal*" değerleri ve eğilimleri belirlenmelidir. Böylece bir kendiliğinden yanma/yangın durumunda kömür sıcaklığı bu yolla tahmin edilebilir. Bu oran, yangın dışında ocak atmosferine karışan CO ve CO_2'nin bulunduğu durumlarda hatalı sonuçlar verebilmektedir.

3.4. Willet Oranı

Bu oran Willet tarafından 1951 yılında özellikle düşük sıcaklıkta gelişen oksidasyonlarda normal oluşumdan daha fazla CO oluştuğu durumlar için geliştirilmiştir (McPherson, 1993). Bu durumlarda ikincil reaksiyonlar ya da adsorpsiyon reaksiyonları nedeniyle CO miktarı zamanla azalmamakta ve bu nedenle Graham İndeksi kullanılamamaktadır. Willet Oranı Eşitlik 3 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Willet\,Oranı = \frac{CO_2}{Kör\,nefes + Yanabilirler} \tag{3}$$

Burada; kör nefes, CO_2 ve N_2'nin toplam değerini, yanabilirler ise tüm yanabilen gazları (CH_4, CO, H_2 ve diğer hidrokarbonları) temsil etmektedir. Oranın değerinde meydana gelen artışlar yanma reaksiyonlarında artmayı, azalma ise yanma reaksiyonlarındaki azalmayı göstermektedir.

3.5. Jones-Trickett Oranı

Bu oran, örneklerin güvenilirliğini belirlemek ve yanma reaksiyonlarında hangi yakıtın yandığının tespit edilmesinde kullanılmaktadır (Jones ve Trickett, 1954). Esas itibariyle bu oran gaz patlamaları ve toz patlamalarının birbirinden ayırt edilebilmesi için geliştirilmiş bir yöntemdir. Jones-Trickett Oranı Eşitlik 4 kullanılarak hesaplanabilmektedir.

$$Jones-Trickett\,Oranı = \frac{CO_2 + (0,75CO) - (0,25H_2)}{0,265N_2 - O_2} \qquad (4)$$

Bu oranın temelinde, bir yangında tüketilen malzemenin moleküllerinin açığa çıkan gaz molekülleri ile orantılı olması ve bunun da gazın hacmi ile orantılı olmasında yatmaktadır. Örneğin metanın (CH_4) tam yanma reaksiyonunda, iki molekül oksijen (O_2) tüketilirken bir molekül karbon dioksit (CO_2) ve iki molekül su (H_2O) oluşmaktadır. Bu durumda açığa çıkan her CO_2 molekülüne karşılık iki O_2 molekülü tüketilmekte ve bu da sınır değer olan 0,5'i (1/2) vermektedir. Bu ise, CH_4'ün yandığı durumlarda Jones-Trickett Oranının 0,5'i aşamayacağı anlamına gelmektedir. Diğer malzemeler için de benzer sınır değerler bulunabileceğinden, Jones-Trickett oranı kullanılarak bir yangın esnasında hangi malzemenin yandığı anlaşılabilmektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Jones-Trickett Oranı değerleri ve değerlendirilmesi (Strang ve MacKenzie-Wood, 1985'ten değiştirilerek).

	Jones-Trickett Oranı*	**Yanan Malzeme**
Yangın	< 0,4	Yanma yok
	0,4 – 0,5	Metan
	0,5 – 1,0	Kömür, yağ, bant, yalıtım malzemesi, köpük
	0,9 – 1,6*	Ahşap
Patlama	< 0,4	Yanma yok
	0,5	Metan
	0,87	Kömür tozu
	0,5 – 0,87	Metan ve kömür tozu

*Oranın 1,6'dan büyük bulunması gaz kromatografında, örneklemede ya da matematiksel hesaplamalarda hata olduğunu göstermektedir.

3.6. Partington Oranı

Bu oran esas itibariyle CO/CO_2 oranının kısıtlarının giderilmesi için geliştirilen ve artan oksidasyonla artan değerler sergileyen bir orandır. Oranın pik yaptığı durumlarda patlamalar olduğu, sönümlenerek sabit hale geldiği durumlarda ise yangının pasif duruma geçtiği anlaşılmaktadır. Partington Oranı Eşitlik 5 ile hesaplanabilmektedir.

$$Partington\,Oranı = \frac{N_2}{CO + CO_2} \tag{5}$$

3.7. Litton Oranı

Bu oran, Litton (1986) tarafından barajlanmış ocak atmosferlerini izlemek ve barajlanmış kısım yeniden açıldığında ve havalandırıldığında yeniden yanma potansiyelini değerlendirmek için geliştirilmiş bir orandır. Oranın hesaplanabilmesi için O_2, CO_2, CH_4 ve C_2H_6 (etan) konsantrasyonlarının ölçülmesine ihtiyaç vardır. Oranın kullanılabilmesi için O_2'nin %1'den büyük olması gerekmektedir. Litton Oranı Eşitlik 6 yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$Litton\,Oranı = \frac{1}{3}\frac{CO}{\sqrt[3]{[100-4,774O_2-CH_4-C_2H_6)]^2}\sqrt{O_2}} \quad (6)$$

Bu eşitlikte; CO ve C_2H_6 konsantrasyonları ppm cinsinden, diğer konsantrasyonlar ise % cinsindendir.

Eğer Litton Oranı değeri 1'den büyükse, bu henüz ortam sıcaklıklarına ulaşılmadığını ve oksidasyon/yanmanın devam ettiğini göstermektedir. Litton (1986) barajlanan bir ocak kesiminin tekrar açılabilmesi için en az 30 gün süreyle oranın 1'in altında seyretmesi gerektiğini belirtmiştir. Kendiliğinden yanmadan kaynaklanan olaylarda ise Litton oranı 1'in altında seyretse bile barajlanan bölge açıldıktan sonra oksijenin tekrar bölgeye girmesiyle yeniden bir kızışmanın olabileceği ihtimali dikkate alınmalıdır (Timko ve Derick, 2006).

3.8. Hidrokarbon Oranı

Bu oran, Justin ve Kim (1988) tarafından geliştirilmiş ve yeryüzünden açılacak çok sayıda sondajla barajlanmış bir bölgeden alınan gaz örneklerinin incelenmesiyle yangının yeri, durumu ve kızışma durumunun tespitini hedefleyen bir orandır. Yöntemde, sıcaklığa bağlı olarak kömürden yayılan düşük molekül ağırlıklı (C_1-C_5) hidrokarbonların izlenmesi esastır. Normal ortam sıcaklıklarında kömürden desorbe olan temel gaz bilindiği üzere CH_4' tür. Ancak kömür sıcaklıkları arttıkça diğer hidrokarbonlar da açığa çıkmaktadır. Bu oran Eşitlik 7 kullanılarak hesaplanmaktadır.

$$Hidrokarbon\,Oranı = \frac{[1,01(THC)-(CH_4)]}{[(THC)+C]} \quad (7)$$

Burada; THC toplam hidrokarbon konsantrasyonunu (ppm), CH_4 metan konsantrasyonunu (ppm) ve C ise bir sabiti (0,01 ppm) temsil etmektedir. Toplam hidrokarbon konsantrasyonu (THC) hesaplanırken diğer hidrokarbon

konsantrasyonlarına CH_4'te eklenmelidir. Analizlerden elde edilen Hidrokarbon Oranı değerleri Çizelge 5'e göre değerlendirilmektedir.

Çizelge 5. Hidrokarbon Oranı değerleri ve yorumu.

Hidrokarbon Oranı	**Yorum**
< 50	Normal Oksidasyon koşulları ve sıcaklıklar
50-100	Muhtemel bir kızışma
> 100	Kendiliğinden yanma (değerdeki her artış kızışmanın yoğunluğunun arttığını göstermektedir)

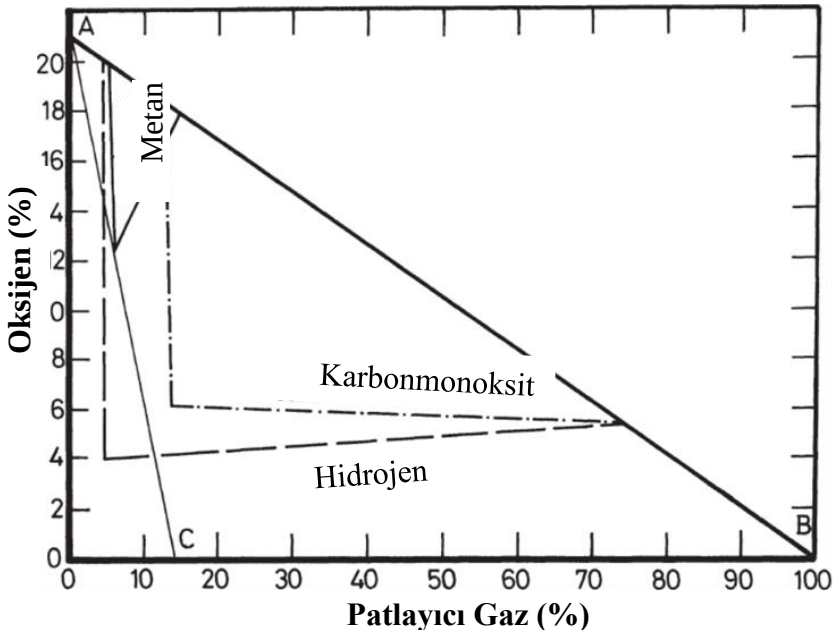
Bu yöntemde yeryüzünden açılan sondajlardan gaz örneklerinin çekilmesiyle yangının yeri hakkında bilgi elde edilebilir. Zira gaz örnekleri açılan sondajlardan vakumlanarak elde edildiği için eğer örnek alınan sondaj kızışma/yangın alanının dışındaysa desorbe olan gazlar analizlerde görünmeyecektir. Ancak, yeryüzünden çok sayıda sondaj yapmak özellikle derin madencilik koşullarında oldukça maliyetli ve zor olacaktır. Bunun yanı sıra, metanın normal yayılımları, barajlanmış bir yangın alanında oluşan metan yayılımları ile diğer hidrokarbonların yayılımlarını maskeleyebilmekte ve bu da bu oranın hesaplanması için gerekli analizlerde hatalara sebep olmaktadır.

4. PATLAYABİLİRLİK VE PATLAYABİLİRLİĞİN DEĞERLENDİRİLMESİ

Yeraltı kömür ocaklarında yangınlı bir sahanın barajlanması ve barajlı bölgenin yeniden açılması sırasında ortam atmosferinde patlayıcı özellikteki gazların varlığı nedeniyle ciddi bir patlama tehlikesi bulunmaktadır. Barajların kapatılmasından sonra ortamdaki oksijen varlığında patlayıcı gazların konsantrasyonları artmakta ve patlayıcı bir aralıktan geçmektedir. Barajların

açılmasından sonra ise ortama O_2 girişiyle patlayıcı gazlar seyrelmekte ve bu gazların konsantrasyonları yine patlayıcı bir aralıktan geçmektedir. Böylesi durumların önceden tahmin edilmesi ve kontrolü için gazların ve gaz karışımlarının patlama sınırlarının iyi anlaşılması ve bilinmesi gerekmektedir.

Yeraltı kömür ocaklarında çoğu durumda bu sorunları yaratacak gaz CH_4 olup bu gazın patlayabilirliği iyi bilinen Coward-Jones diyagramı ile değerlendirilmektedir. Ancak, barajlanan bölgede CO ve/veya H_2 gibi patlayıcı özellikteki diğer gazların da bulunması bu diyagramda ciddi değişimler yaratmaktadır. CH_4, CO ve H_2 gazlarının tek başlarına patlayıcı özellik gösterdiği patlayabilirlik üçgenleri Şekil 1'de gösterilmektedir. Belirtilen gazlar için alt ve üst patlama uç nokta sınırları ise Çizelge 6'da verilmiştir.



Şekil 1. CH_4, CO ve H_2 için patlayabilirlik üçgenleri.

Çizelge 6. CH_4, CO ve H_2 için patlayabilirlik üçgenlerinin köşe noktaları (Coward and Jones, 1952).

Gaz	Patlayabilirlik Sınırları		Uç Nokta Sınırları	
	Alt	Üst	Gaz	O_2
Metan	5,3	14,0	5,9	12,2
Karbonmonoksit	12,5	74,0	13,8	6,1
Hidrojen	4,0	75,0	4,3	5,1

CH_4, CO ve H_2 gibi patlayıcı özelliğe sahip gazların bir arada bulunması patlayıcı karışımın alt ve üst sınırları ile uç nokta sınırını değiştirmektedir. Bu durumda patlayıcı karışımın alt ve üst sınırları ile uç nokta sınırlarının yeniden hesaplanması gerekmektedir. Karışımın alt ve üst patlama sınırları Eşitlik 8 ile hesaplanabilmektedir.

$$\frac{p_t}{L_t} = \frac{p_1}{L_1} + \frac{p_2}{L_2} + \frac{p_3}{L_3} \quad (8)$$

Burada; p_t karışımdaki toplam patlayıcı gaz yüzdesini, p_1, p_2 ve p_3 karışımdaki patlayıcı gazların yüzdelerini, L_1, L_2 ve L_3 ise bu gazların alt ya da üst patlama sınırlarını temsil etmektedir.

Benzer şekilde karışımın uç nokta konsantrasyonu (L_n) da hesaplanabilmektedir. Ancak patlama üçgeninin çizilebilmesi için uç nokta konsantrasyonuna karşılık gelen O_2 konsantrasyonunun da bulunmasına ihtiyaç vardır. Bunun yapılabilmesi içinse karışımı patlamaz hale getirecek fazla inert yüzdesinin (N_2) bulunmasına ihtiyaç vardır. CH_4, CO ve H_2 gazlarının her bir metre küpü için eklenmesi gereken N_2 miktarları (N^+) sırasıyla 6,07m^3, 4,13 m^3 ve 16,59 m^3'tür. Buna göre; bu gazların karışımının patlamaz hale gelmesi için gerekli N_2 yüzdesi Eşitlik 9 ile hesaplanmaktadır.

$$N_{fazla} = \frac{L_{uç}}{p_t}(N_1^+ p_1 + N_2^+ p_2 + N_3^+ p_3) \quad (9)$$

Karışımın uç noktasında gerekli O_2 yüzdesi ise Eşitlik 10 yardımıyla hesaplanabilmektedir.

$$O_2 = 0,2093(100 - N_{fazla} - L_{uç}) \quad (10)$$

Bu kavramların daha rahat anlaşılabilmesi için bir örnek vermek uygun olacaktır.

Örnek

Barajlı bir sahadan alınan gaz örneklerinin analizi sonucunda şu sonuçlar elde edilmiş olsun: CH_4 %12, CO %3, H_2 %2, O_2 %6 ve inertler %77 (p_t= CH_4+CO+H_2= %17). Bu bilgilere göre Coward-Jones diyagramını oluşturalım.

Öncelikle karışımın alt ve üst patlama sınırları ile uç nokta sınırı bulunmalıdır. Bunun için Eşitlik 8 kullanılarak;

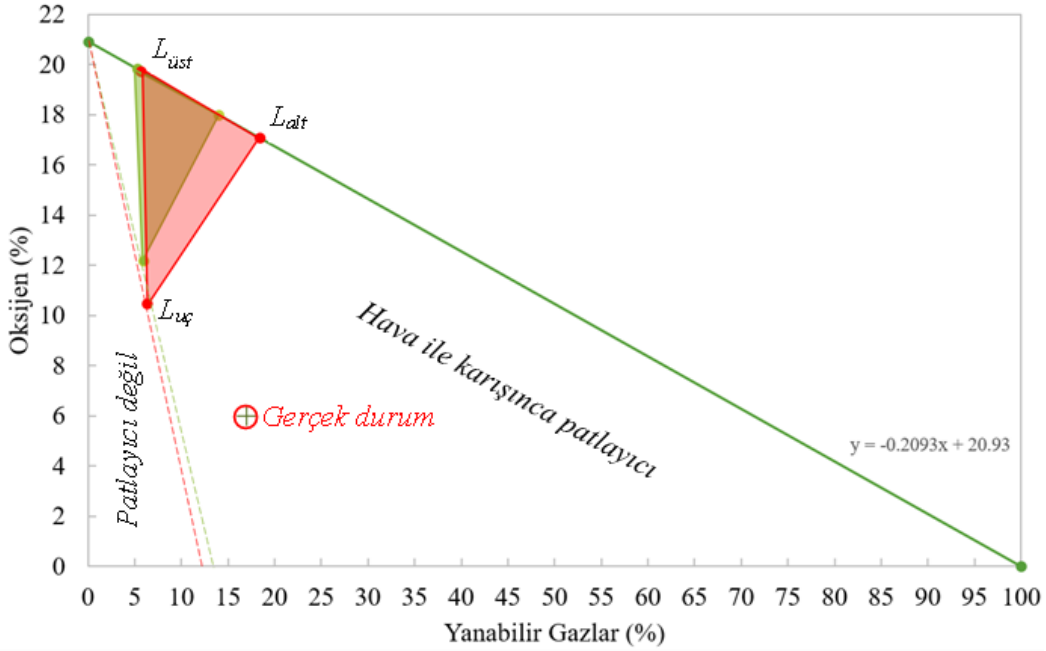
$$\frac{17}{L_{Alt}} = \frac{12}{5,3} + \frac{3}{12,5} + \frac{2}{4} \qquad \frac{17}{L_{Üst}} = \frac{12}{14} + \frac{3}{74} + \frac{2}{75} \qquad \frac{17}{L_{uç}} = \frac{12}{5,9} + \frac{3}{13,8} + \frac{2}{4,3}$$

ve $\boldsymbol{L_{alt}}$ **= % 5,66,** $\boldsymbol{L_{Üst}}$ **= %18,39** ve $\boldsymbol{L_{uç}}$ **= %6,26** olarak bulunur.

Daha sonra Eşitlik 9 kullanılarak

$$N_{fazla} = \frac{6,26}{17}(6,07x12 + 4,13x3 + 16,59x2)$$

N_2 fazlası **%43,6** olarak bulunur. Son olarak Eşitlik 10 kullanılarak uç sınırdaki O_2 yüzdesi ise $O_2 = 0,2093(100 - 43,6 - 6,26)$ = %10,49 olarak bulunur. Bu durumda karışım için çizilen Coward-Jones diyagramı Şekil 2'de verilmiştir.



Şekil 2. Coward-Jones diyagramındaki değişim.

5. BARAJLARIN YENİDEN AÇILMASINDA UYGULANACAK BİR PROSEDÜR ÖNERİSİ

Geniş alanların kapatılması ve açılması sürecinde sahadan dolaşan hava birçok hava koluna bölündüğü için gazların birikmesi ve oksidasyon açısından elverişli koşullar oluşmaktadır. Özellikle barajların kapatılma sürecinde kesit daraldıkça bu etki daha belirgin hale gelmektedir. Barajların açılma sürecinde de ilk aşamalarda henüz açılan kesit çok küçükken benzer koşullar söz konusudur.

Tek bir panonun kapatılması ve açılması sürecinde açık olan kesitten geçen havanın tamamı genellikle bir ya da iki hava koluna bölünerek çalışma sahasını dolaşır. Barajlar kapatılırken barajların içine yerleştirilen hava borularının kapakları baraj açma sırasında çok kısa bir sürede açılarak barajların arkası aynı anda havalandırılmaya başlanabilir. Bu aşamadan sonra kapalı alandaki tehlikeli gazlar süratle temizlenir ve dönüş havasında yanma ürünü bir gaz tespit edilmezse barajların kırılarak kesitin genişlemesi ve barajların tamamen kırılması kısa bir sürede tamamlanabilir. Bir üretim panosunun açılma sürecinde borulardan geçen hava miktarı yeterli olabilirken geniş sahaların açılması durumunda bir borudan geçen hava miktarı yetersiz olacak ve riskler artacaktır. Geniş sahaların açılması

aşamasında barajlarda hava borularının bulunmaması durumunda ise giriş barajından geçen havanın birden fazla hava koluna bölünmesi nedeniyle çok küçük hızlardaki havanın kömürlü yüzeylerden dolaşımı nedeniyle oksidasyon açısından elverişli koşullar oluşacaktır. Bu nedenle hava borusu bulunmayan barajların açılması çalışmalarında oksidasyon oluşmaması ve açılacak sahadan yeterli havanın dolaşması için özel önlemler alınması gereklidir. Her halükarda barajların içine yerleştirilecek hava borularının barajların kapatılması ve açılması işlemleri sırasında önemli avantajlar sağlayacağını belirtmek isteriz.

i. Barajların açılması, içerideki faaliyetlerin yürütülmesi ve ihtiyaç halinde tekrar barajların kapatılması sürecini yürütmek üzere gerekli mesleki donanıma sahip bir kişi yetkili olarak belirlenmelidir. Bu kişinin yokluğunda aynı işlevleri yerine getirmek üzere ikinci bir kişi de belirlenmelidir. Bu kişilere ihtiyaç halinde baraj açma faaliyetlerinde gerekli değişiklikleri yapmak da dahil olmak üzere her türlü kararı vermek ve çalışmaları yürütmek konusunda yetki verilmelidir.

ii. Gaz izleme, gazların analizi ve havalandırma konusunda gerekli işleri yürütmek üzere gerekli donanıma sahip bir kişi görevlendirilmelidir.

iii. Geçici tahlisiye istasyonlarının oluşturulması ve ihtiyaç halinde keşif ve kurtarma faaliyetlerini yürütmek üzere yeterli sayıda tahlisiyeci görevlendirilmelidir.

iv. Baraj açma faaliyetleri ve destek hizmetleri 24 saat devam edecek şekilde planlanmalıdır.

v. Ocakta yürütülen tüm hazırlık, üretim vb. faaliyetlere ara verilmelidir. Su atımı ve zorunlu tamir-bakım işleri ile baraj açma çalışmaları dışında bir faaliyet yürütülmemelidir.

vi. Baraj açma çalışmaları için oluşturulan ekiplerde sadece fiili olarak çalışacak kişiler bulunmalı, görevli olmayanların ocağa girişleri engellenmeli, ocağa giren ve çıkanların kayıtları tutulmalıdır.

vii. Ocağın kirli hava dönüş yolu üzerinde elektrikli ve mekanik herhangi bir teçhizat çalıştırılmamalı, bu güzergahta elektrik enerjisi kesilmelidir.

viii. Giriş ve çıkış barajlarının önüne temiz hava basacak şekilde elektrikli tali pervaneler kurularak çalışmaya hazır hale getirilmelidir. Baraj açma çalışmaları sırasında barajların önü tali pervaneler ile havalandırılmalı; yeterli oksijen seviyelerinin varlığı manuel gaz ölçme cihazları ve MGİ sistemi ile takip edilmelidir.

ix. Giriş ve çıkış barajlarının önüne Merkezi Gaz İzleme Sistemi tarafından izlenmek üzere; Oksijen, Karbonmonoksit, Metan, Karbondioksit, sıcaklık ve hava hızı sensörleri kurularak sürekli izleme yapılmalıdır. Barajlar açıldıkça gerektiğinde sensörlerin barajların arkasına taşınmasını sağlamak üzere yeterli kablo ve gerekli düzenekler temin edilmelidir.

x. Barajların tekrar kapatılmasının gerekli olması halinde kullanılmak üzere barajların önünde yeterli malzeme hazır bulundurulmalıdır. Şok barajları da dahil olmak üzere her barajın içine yerleştirilmek üzere, 90 cm çapında ve yeterli uzunlukta metal hava boruları temin edilmelidir. Hava borularının kapak düzenekleri hızlı ve sızdırmaz kapatma sağlayacak şekilde imal edilmelidir.

xi. Giriş ve çıkış barajında yeniden kapatma durumunda şok barajı yapımında kullanılmak üzere yeterli miktarda kum torbaları hazır bulundurulmalıdır.

xii. Barajlar açıldıktan sonra kömürlü yüzeylerde oksidasyonu önlemek amacıyla kullanılmak üzere köpük, çimento-bentonit karışımı püskürtme ve taş tozu serpme işlemleri için gerekli ekip ve ekipman hazır bulundurulmalıdır.

xiii. Baraj açma çalışmaları başlamadan önce barajların bağlı olduğu hava yollarından geçen hava miktarının düşürülerek basınç farkının azaltılması için ana havalandırma aspiratöründe ve hava kollarında gerekli ayarlamalar yapılmalıdır.

xiv. Giriş ve çıkış barajlarının bağlı olduğu hava kolu/kolları üzerinde bulunan hava kapıları tamamen açık tutulmalıdır. Barajlarda yeterli kesit açılana kadar bu durum değiştirilmemelidir. Baraj açma çalışmaları tamamlandıktan sonra ana fanın normal çalışma düzenine geçmesini takiben bu kapılar kapatılmalıdır. Böylece barajlarla kapatılmış sahaya mümkün olan en fazla hava ulaştırılıp tehlikeli gazların en kısa sürede temizlenmesi sağlanmalıdır.

xv. Barajlarda kırma ve delme yapmak üzere yeterli araç gereç ve basınçlı hava tesisatı hazır bulunmalıdır. Hızlı çalışmayı temin etmek üzere, aynı anda fiziki koşulların müsaade ettiği en yüksek sayıda kırıcı ve delici kullanılmalıdır.

xvi. Kırma ve delme işlemleri sırasında kıvılcım çıkmasını önlemek ve tozla mücadele amacıyla kullanılmak üzere su tesisatı ve gerekli donanım temin edilmelidir.

xvii. Yangınlı saha ikiden fazla baraj ile kapatılmış ise ilk aşamada, kapalı sahanın en alt kotu ile en üst kotu arasında havalandırmayı sağlayacak iki barajın açılması tercih edilmelidir. Tehlikeli gazlar temizlenerek ocak içinde güvenli koşullar oluşturulduktan sonra diğer barajlar açılmalıdır. Bu durum kapalı sahadan dolaşacak hava hızının artması ve tehlikeli gazların daha çabuk temizlenmesi ve kömürlü yüzeylerde oluşan oksidasyon ısısının ortamdan uzaklaştırılması açısından daha uygun olacaktır. Beklenmeyen bir oksidasyon koşullarında yeniden kapatma işlemleri açısından da avantaj sağlayacaktır.

xviii. Giriş ve çıkış barajların da şok barajları ya da sızdırmazlık sağlamak amacıyla denge barajları yapılmışsa peş peşe 2 ve daha fazla baraj yapılmışsa bu durumda baraj açma çalışmalarına çıkış barajından başlanmalıdır. Sırasıyla bu barajların her birisi en az 4 m^2 düzgün bir kesit oluşturacak şekilde açılmalıdır. İlk baraj açıldığında açılan boşluğu tamamen kapatacak şekilde sızdırmaz bir hava kapısı imal edilmelidir. Aynı işlem 2. ve varsa diğer barajlar için de tekrarlanmalıdır. Barajların açılma ve kapıların yapım işlemi tamamlandıktan sonra hava kapıları kapatılıp sızdırmazlığın sağlandığından emin olduktan

sonra bu alan terk edilmeli, bu alana sadece örnek alma ve hava ölçüm amacıyla çalışan görevliler girmeli ve hiçbir koşulda hava kapıları açılmamalıdır.

xix. Çıkış baraj açma çalışmalarının tamamlanmasından sonra giriş barajlarında aynı işlemler tekrarlanmalıdır.

xx. Giriş ve çıkış barajlarının açılması ve hava kapılarının imal edilip kapatılmasını müteakip bir ekip çıkış barajındaki hava kapılarının tamamını açıp hava akımında tekrar kapanmayacak şekilde sabitledikten sonra güvenli bölgeye geri çekilmeli, baraj önünü havalandıran fan stop edilmelidir. Bu kapıların açılmasını müteakip giriş barajlarındaki hava kapıları açılıp sabitlenmeli ve baraj önünü havalandıran fan stop edilmelidir.

Hemen arkasından barajların bağlı olduğu hava kolu üzerindeki hava kapıları kapatılmalı ve ana aspiratör normal çalışma düzenine geçmelidir.

xxi. Ocak içindeki tüm çalışanlar dışarı çıkarılmalı ve tehlikeli gaz değerleri güvenli değerlere ulaşana kadar ocağa kimsenin girmesine izin verilmemelidir.

xxii. Ocak içinde tehlikeli gazların güvenli seviyede bulunduğu tespit edildikten sonra ekipler süratle kömürlü yüzeylere one-seven, çimento-bentonit püskürtme ve taş tozu serpme çalışmalarına başlamalıdır. Aynı zamanda havalandırmadan sorumlu ekip ocak içinde hava dolaşımını temin etmek üzere kapalı sahada zarar gören hava kapılarının tamir edilmesi ve gerekli yerlerdeki kapıların açılması ya da kapatılması işlerini yürütmelidir. Havalandırma konusunda yapılacak bu işler uzman bir ekip tarafından baraj açma çalışmaları başlamadan önce planlanmalıdır.

Yukarıda açıklanan işlerin yürütülmesinin herhangi bir aşamasında 1. Maddede belirtilen kişiler tarafından oksidasyonun tekrar başladığının tespit edilmesi ve ocağın kapatılma kararının verilmesi halinde şok barajları da dahil olmak üzere hava boruları da yerleştirilerek baraj kapatma prensiplerine uygun olarak kapatma işlemleri yapılmalıdır.

6. SONUÇ VE DEĞERLENDİRME

Genel itibariyle, kendiliğinden yanma/yangın koşullarında gaz konsantrasyonları tek başlarına oksidasyon, kızışma ya da yangının yoğunluğunun belirlenmesi açısından iyi indikatörler değildir. Zira artan gaz konsantrasyonları; oksidasyon/kızışma/yangının yoğunluğunun artması, aktif kızışma/yangın alanının genişlemesi ya da diğer atmosferik koşullar bu indikatörlerin tek başlarına yorumlanmasını zorlaştırmaktadır.

Bir yangın süresince ocaktan elde edilen tüm izleme verileri ve analiz sonuçları titizlikle incelenmeli ve saklanmalıdır. Bu iş günümüzde bilgisayarlar yardımıyla rahatlıkla yapılabilmektedir. Tüm gaz konsantrasyonlarının ve kullanılan indeks/oranların grafikleri çizilmeli, eğilimleri değerlendirilmeli ve yeni değerler elde edildikçe veriler ve grafikler güncellenmelidir. Bu noktada tek başına değerler yerine eğilimlerin daha önemli olduğu unutulmamalıdır. Bu nedenle, mümkünse farklı yerlerden çok sayıda örnek almak yerine belirlenen istasyonlardan düzenli olarak örnekler alınması daha faydalı olacaktır. CO/CO_2 oranı dışındaki tüm indeks/oranların Azot gazının kullanıldığı inert gaz enjeksiyonundan etkileneceği unutulmamalıdır.

Bunun yanı sıra, gaz konsantrasyonlarının (H_2/CO ya da C_2H_6/CH_4 vb.) birbirlerine oranlarının incelenmesi de faydalı bilgiler sağlayabilmektedir. Özellikle kömürlerim gaz içerikleri ve gaz kompozisyon analizlerinden elde edilmiş orijinal oranlar ile oksidasyon/kızışma sırasında elde edilen oranlar karşılaştırılarak ortama yayılan gazların damarın kendisinden mi yoksa başka bir kaynaktan mı yayıldığını tespit etmek mümkündür.

Sonuç itibariyle, bazı özel koşullar dışında, münferit gaz örneklerinin ya da indeks sonuçlarının değerlendirilmesi yerine örneklerin gruplanması ve eğilimlerin incelenmesi çok daha önemlidir. Bu sayede barajlanan bölgenin atmosferik koşulları çok daha doğru bir şekilde belirlenebilmektedir.

Barajlı bölgedeki atmosferin doğru değerlendirilebilmesi için barajlanan bölgeden alınan gaz örnekleri içindeki gazların bileşimlerinin doğru belirlenmesi büyük önem arz etmektedir. Her ne kadar bu amaçla tekli ya da çoklu gaz analiz cihazları kullanılsa da barajlanan bölgedeki atmosfer içinde CO, CO_2, CH_4, N_2 gibi gazların yanı sıra H_2, C_2H_2, C_2H_4 ve C_2H_6 gibi yanıcı/patlayıcı ya da indikatör gazlar da bulunabileceğinden barajlanan bölgeden alınan gaz örneklerinin gaz kromatografi gibi hassas ölçümler yapabilen analitik bir cihaz ile değerlendirilmesi büyük avantajlar sağlamaktadır. Bu sayede gaz bileşimleri doğru ve kapsamlı belirlenebileceği gibi ortamın patlayıcı olup olmadığı da daha hassas bir şekilde belirlenebilmektedir.

Yeraltı kömür ocaklarında barajlanan bölgelerdeki atmosfer çoğu durumda patlayıcı olabilmekte ve hem barajlama çalışmaları sırasında hem de barajların yeniden açılması sırasında önemli tehlikeleri beraberinde getirmektedir. Bu nedenle barajlanan bölgedeki atmosferin patlayabilirliğinin sürekli olarak değerlendirilmesi özel önem arz etmektedir. Bu amaçla barajların arkasından alınan örneklerin gaz bileşim analizlerinin ardından Coward-Jones diyagramlarının çizilmesi ve sürekli olarak güncellenmesi gerekmektedir. Bu maksatla günümüzde çeşitli yazılımlar kullanılabileceği gibi ocaklarımızda mevcut gaz izleme sistemlerine bu türlü bir modül yerleştirilmesinin oldukça faydalı olacağı değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

Banerjee, S.C., 1985. Spontaneous Combustion of Coal and Mine Fires. A. A. Balkema, Rotterdam, 165 p.

ÇSGB, 2011. Yeraltı ve Yerüstü Maden İşletmelerinde İş Sağlığı ve İş güvenliği Rehberi, T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, Yayın No:45, https://www.csgb.gov.tr/medias/6013/2011_45.pdf (Temmuz 2024 tarihinde erişim sağlandı)

Dündar M., Ayral, K., Coşkun M., 1977. Zonguldak kömür havzasında kendiliğinden yanabilen damarlarda alınması gerekli tedbirler ve mücadele yöntemleri, Türkiye Madencilik bilimsel ve Teknik Kongresi, 14-18 Şubat, Ankara.

Jones, J.E., Trickett, J.C., 1954. Some observations on the examination of gases resulting from explosion in collieries. *Trans. Inst. Min. Engrs* 114, 768-790.

Justin, T.R., Kim, A.G., 1988. Mine Fire Diagnostics to Locate and Monitor Abandoned Mine Fires, Mine Drainage and Surface Mine Reclamation, Pittsburg, pp. 348-355.

Litton, C.D., 1986. Gas Equilibrium in Sealed Coal Mines. U.S. Bureau of Mines, RI 9031, 13 pp.

McPherson, M.J., 1993. Subsurface Ventilation and Environmental Engineering. Chapman & Hall, United Kingdom, 930 p.

MDG-1006, 2011. Technical Reference for Spontaneous Combustion Management Guideline. Mine Safety Operations Branch of Industry and Investment NSW, 112 p.

Mitchell, D.W., 1990. Spontaneous Combustion, in Mine Fires. Maclean Hunter Publ. Co., pp. 27-38.

NSW Government, 2022. Work Health And Safety (Mines and Petroleum Sites) Regulation, İş Sağlığı ve Güvenliği (Maden ve Petrol Sahaları) Yönetmeliği, New South Wales Government, https://legislation.nsw.gov.au/view/whole/html/inforce/current/sl-2022-0509 (05.07.2024 tarihinde erişim sağlandı).

Strang, J., MacKenzie-Wood, P., 1985. A Manual on Mines Rescue, Safety and Gas Detection. Kiama, Weston, 366 pp.

YERALTI MADEN İŞLETMESİNDE İŞ MAKİNELERİ YANGIN RİSKİ VE ÖNLEME TEDBİRLERİ

FIRE RISK AND PREVENTION MEASURES FOR MOBILE EQUIPMENT IN AN UNDERGROUND MINE

Selçuk Arıcı, Mücahit Aras
Çayeli Bakır İşletmeleri, Rize

ÖZ: Yeraltı maden işletmelerinde işçi sağlığını ve iş güvenliğini tehdit eden başlıca iki büyük risk; yangın ve göçüktür. Bu bildiride, özellikle iş makinelerinde meydana gelebilecek olası yangınları önlemek için nasıl bir yöntem izlendiğine dair bilgi verilecektir. Yangının meydana gelmesi için, yangın üçgeninde yer alan ısı, yakıt ve oksijen unsurlarının aynı anda bir araya gelmesi gerekmektedir. Tam mekanize yeraltı madenlerinde kullanılan kamyon, kepçe ve delici gibi iş makineleri; güç üretimi için içten yanmalı dizel motorlar ve elektrik motorları, üretilen gücün aktarımı için ise; tork çeviriciler, şanzımanlar, diferansiyeller ve hidrolik motorlar gibi bileşenler içermektedir. Bu sistemler hem ısı hem de yakıt kaynağı barındırdığından, yangın riski oluşturmaktadır. Bu nedenle, söz konusu sistemlerden kaynaklanabilecek yangın risklerini ortadan kaldırmak veya en aza indirmek amacıyla detaylı risk analizleri yapılmalı, kök neden analizleri ekip çalışmasıyla tamamlanmalı, gerekli önlemler alınmalı ve bu önlemlerin sürdürülebilirliği sağlanmalıdır. Bu bildiride, yeraltı madenlerinde iş makinelerinden kaynaklanabilecek yangın risklerinin belirlenmesi ve bu riskleri ortadan kaldırmaya yönelik alınması gereken tedbirler incelenecektir.

Anahtar kelimler: İş makineleri, yeraltı maden, yangın

ABSTRACT: *In underground mining operations, fire and fall of ground are the two major risks that threaten occupational health and safety This article will provide information on how to prevent possible fires, especially in mobile equipment. For a fire to occur, the three elements of the fire triangle—heat, fuel, and oxygen—must come together simultaneously. In fully mechanized underground mines, equipment such as trucks, loaders, and drill rigs use internal combustion diesel engines and electric motors for power generation, while torque converters, transmissions, differentials, and hydraulic motors are used for power transmission. Since all these systems contain both heat and fuel sources, they pose a fire risk. Therefore, it is crucial to conduct detailed risk analyses, perform root cause analyses through teamwork, implement necessary preventive measures, and ensure the sustainability of these measures to eliminate or minimize fire risks arising from these systems. This paper will discuss the identification of fire risks*

associated with mobile equipment in underground mining operations and the necessary measures to mitigate these risks.

Keywords: *Mobile Equipment, underground mine, fire.*

1. GİRİŞ

Çayeli Bakır İşletmeleri A.Ş. (ÇBİ), Türkiye'nin kuzeydoğusunda bulunan ve Kanadalı bir madencilik şirketi olan First Quantum Minerals Limited'in (FQML) bir iştiraki olan yeraltı bakır ve çinko madenidir. ÇBİ, yeraltından cevheri çıkarmak ve onu bir cevher işleme tesisine taşımak için tam mekanize maden iş makineleri kullanmaktadır. Kullanılan madencilik yöntemi, delme, patlatma, yükleme, taşıma, püskürtme betonlama ve cıvatalama gibi ardışık bir süreci içeren kazı-dolgu yöntemidir.

Bu operasyonları desteklemek için, elektro-hidrolik sistemlere ve dizel motorlara sahip 60'tan fazla iş makinesi yeraltında kullanılmaktadır. Bu filo, marka, boyut, karmaşıklık, yaş, durum, yangın söndürme sistemleri ve yangın riskleri açısından önemli ölçüde farklılık göstermektedir. Ortalama yaşı 15 yılı aşan bu iş makinelerinin bakımı ve onarımı hem operasyonel güvenilirliği hem de çalışma güvenliğini sağlamak için önemli bir çaba gerektirmektedir.

Yangın risklerini azaltmak için uygulanan kapsamlı önleyici önlemlere rağmen, iş makinalarında yangın olayları meydana gelmiş olup, eskiyen iş makinelerinde yangın önlemeyle ilişkili devam eden zorlukları vurgulamaktadır.

Bu bildiri, yangın olaylarını önlemek için yapılan çalışmaları 4 ana başlık altında özetlemektir:

a. İş makineleri yangın risk analizi,

b. Yangın olaylarının kök neden analizi,

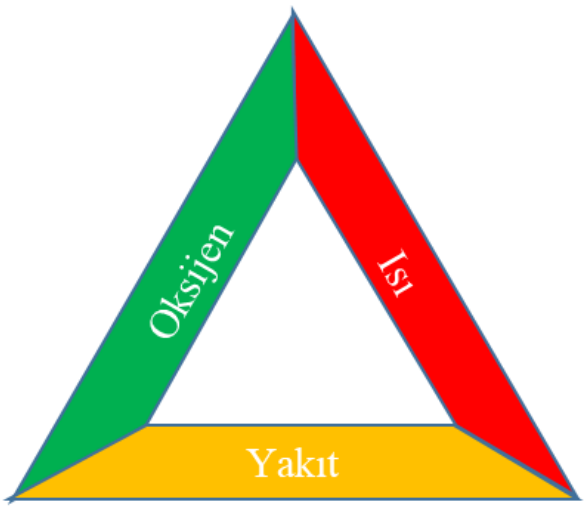
c. Risk analizlerinden ve kök neden analizlerinden çıkan aksiyonların bakım programına entegre edilmesi,

d. Bakım programının kalitesinin sürekli gözden geçirilmesi.

2. MALZEME VE YÖNTEM

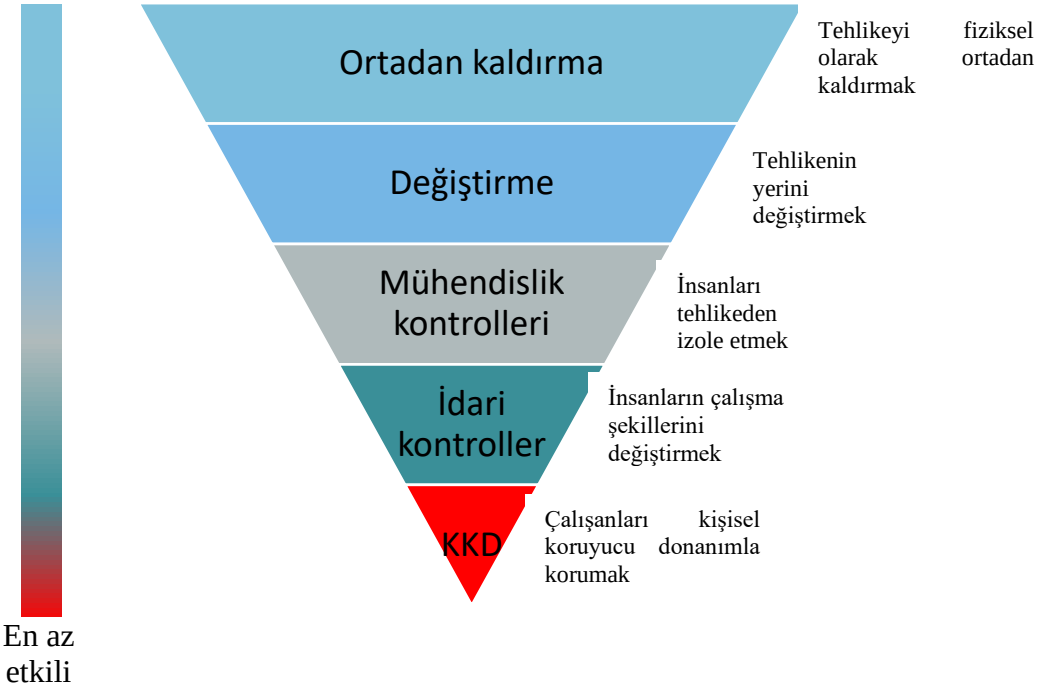
2.1. İş Makinelerinde Yangın Riski

Yeraltı maden işletmelerinde kullanılan iş makineleri cevherin yeraltından yerüstüne çıkarılması için delme, patlatma, yükleme, taşıma işlemlerinde kullanılmaktadır. İş makinelerinde, güç üreten içten yanmalı motorlar ve üretilen bu gücü harekete dönüştürmek için tork çeviriciler, şanzıman, diferansiyel, lastik gibi bileşenler bulunmaktadır. Bu bileşenlerin birçoğu yangın üçgeninde bulunan yakıt ve ısı kaynaklarını içermektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Yangın üçgeni

İş makinelerinde yangın riskini azaltmak veya tamamen ortadan kaldırmak için hem ısı hem de yakıt kaynakları tespit edilerek gerekli önleyici tedbirlerin alınması gerekmektedir. Bu durumda yangın özelinde risk analizlerinin yapılarak risk kontrol hiyerarşisine göre gerekli önlemlerin belirlenmesi ve uygulanması gerekmektedir (Şekil 2). İş makineleri bakım ekibi yangın riskini azaltmak için öncelikli olarak ortadan kaldırma veya değiştirme gibi en çok etkili olan kontrol stratejisi için çözüm geliştirmeye çalışmıştır. Fakat bazı durumlarda sadece idari kontroller ve kişisel koruyucu donanımlarla riski azaltmaya çalışmıştır.

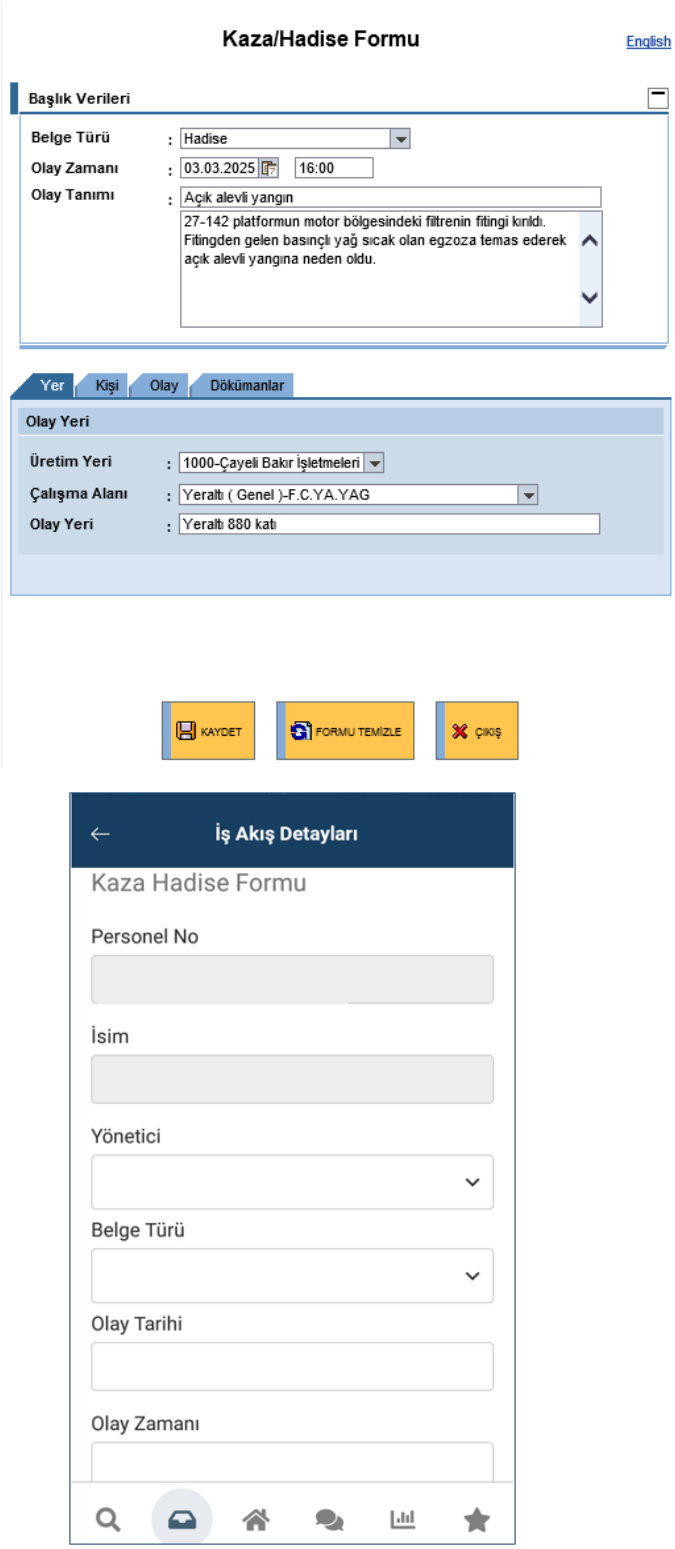


Şekil 2. Risk kontrol hiyerarşisi

2.2. Veri Toplama

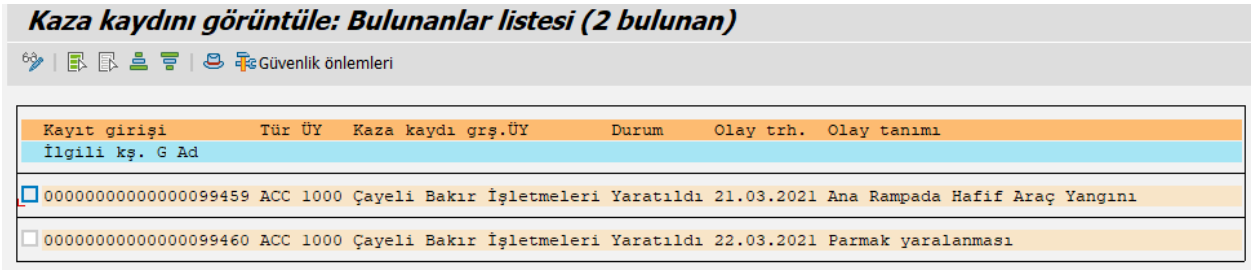
Bu bildirideki analiz için kullanılan veriler, ÇBİ şirket politikaları ve prosedürlerine uygun olarak bildirilen maden sahasında meydana gelen kaza ve hadise bildirimlerinden derlenmiştir.

Tüm çalışanların açık alevli yangın, duman, kablo erimesi ve kıvılcımlar dahil olmak üzere bütün kaza ve hadiseleri ÇBİ politikaları ve prosedürlerine göre bildirmeleri zorunludur. Bildirimler, masaüstü uygulaması olan Doküman Yönetim Sistemi veya mobil uygulama aracılığıyla yapılır (Şekil 3). Yapılan bildirimlerde bilgilerin doğru ve eksiksiz bir şekilde zamanında girilmiş olması kök neden analizlerinin uygun şekilde yapılması ve gerekli uygun önlemlerin ivedilikle yerine getirilmesi açısından önem arz etmektedir.



Şekil 3. Kaza/Hadise raporlama formları – Masa üstü (sol) ve mobil (sağ) uygulama ara yüzleri

Kaza ve hadiseler SAP EHS modülü veri tabanında saklanır ve uygun sorgu yöntemi kullanılarak geçmiş veriler listelenir. Aşağıda veri sorgusunun sonucu verilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Olay ve hadiselerin kayıtlarının sorgu sonucu

Tüm kaza ve hadiseler, Emniyet, Sağlık, Çevre ve Güvenlik (ESÇ) bölümündeki emniyet uzmanları tarafından diğer bölümlerle (maden, bakım ve tesis) koordinasyon halinde kurumsal sorumluluk (CR) kurallarına ve hadiselerin ciddiyetlerine göre kategorilere ayrılmaktadır (Çizelge 1). CR-3 seviyesinde bir olay meydana geldikten sonra, ilgili bölümlerdeki tüm konu uzmanları bir araya gelerek yangın olayının kök neden analizini yaparak önleyici ve düzeltici aksiyonları tespit etmektedirler. Önleyici ve düzeltici aksiyonların tamamlanması için bölüm içi gerekli aksiyon atamaları SAP HSE modülü kullanılarak yapılmaktadır. SAP HSE'de uygun kişilere atanan tüm aksiyonları takip etmek için bir aksiyon listesi kullanılmaktadır.

Çizelge 1. Olay şiddet dereceleri

Seviye	Emniyet
1	-Sadece ilk yardım tedavisi gerektiren veya daha hafif olaylar. -Kritik olmayan sistemlerde kıvılcım, duman gibi olaylar.
2	-Tıbbi tedavi gerektiren olaylar. -İşle ilgili hayatî risk taşımayan ve geri döndürülebilir sağlık etkileri olan durumlar. -Tehlikeli sistemlerdeki kıvılcım, duman gibi olaylar (ANFO aracı).
3	-İş gücü kaybına neden olan yaralanmalar (LTI - Lost Time Injury). -Kritik güvenlik prosedürlerinin ihlali. -Açık alev, araç yangını gibi yangın olayları. -İşle ilgili kalıcı ve hafif derecede kısıtlayıcı veya engelleyici sağlık etkileri olan durumlar (meslek değişikliğine veya yaşam tarzında değişikliğe yol açabilir)
4	-Kalıcı sakatlık ile sonuçlanan olaylar. -İşle ilgili kalıcı sağlık etkileri olan ve yaşam kalitesinde veya yaşam süresinde önemli azalmaya neden olabilecek durumlar.
5	-İş kazası veya iş yeri sağlık tehlikesi sonucu yaşanan ölüm olayları.

Yangın olayları, kaza ve hadiseleri daha iyi analiz etmek, düzeltici ve önleyici eylemler geliştirmek için iş makineleri bakım ekibi tarafından daha ayrıntılı olarak kayıt altına alınmaktadır (Çizelge 2). Yangın olayları ayrıca tehlike sınıflarına göre; açık alev yangını, duman, kablo erimesi ve kıvılcım olarak sınıflandırılmaktadır.

Çizelge 2. Yangın olayları için kayıt altına alınması gereken detaylı bilgiler

SAP ID	Her bir hadise ve olay eşsiz bir numara ile kayıt altına alınır.
CR Seviyesi	Şiddet seviyesi ESÇ bölümü tarafından belirlenir.
Tarih ve Saat	Tarih ve saat bilgisi doğru olarak girilir.
Yeraltı / Yer üstü	Yeraltı ve yer üstü olarak genel yer sınıflandırması yapılır.
Yer	Detaylı yer bilgisi girilir.

Operasyon Tipi	Olay anındaki operasyon, sürüş, yağ ikmali, yakıt ikmali vb.
Hadise Tipi	Açık alevli yangın, kıvılcım, kablo erimesi ve duman.
Ekipman Tipi	Genel ekipman sınıflandırması.
Ekipman No	Ekipman numarası
Yakıt Kaynağı	Hidrolik yağ, mazot, benzin, yanıcı malzeme (bez, sigara izmariti, boya kutuları).
Isı Kaynağı	Turbo, motor, egzoz, lastik, akü, elektrik kablosu, frenler.
Etken Faktörleri	Olaya sebep olan faktörler; hortum hasarı, sızdırmazlık elemanı hasarı, uygun olmayan bakım
Yangın Söndürme Metodu	Yangın söndürme sistemleri; otomatik, manuel.
Ana Sistem	Motor, hidrolik, elektrik
Alt Sistem	Motor, egzoz, fren, elektrik, trafo
Bozulan Ekipman Parçası	Yağ hortumu, filtre, elektrik kablosu, egzoz borusu.
Parçanın Bozulma Şekli	Kırılma, yanma, kısa devre.
Parçanın Bozulma Nedeni	Yanlış montaj, hararet, korozyon, gevşek bağlantı.
Risk Analizinde Belirtildi mi?	Risk analizlerinde belirtilmesi
KAS	Kök neden analizi yapıldı mı?
Düzeltici Faaliyet	Kontrol hiyerarşisi; ortadan kaldırma, değiştirme, mühendislik, idari, kişisel koruyucu ekipmanlar

Bütün yangın olayları ayrıntılı olarak Çizelge 2'deki verilere göre kayıt altına alınır (Şekil 5).

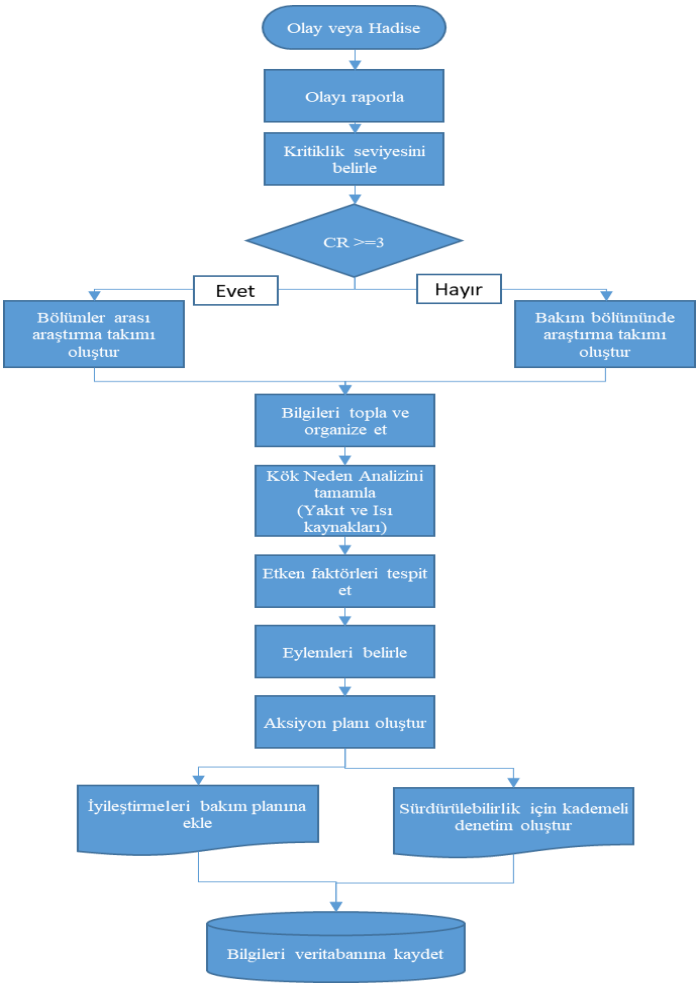
Çayeli Bakır İşletmeleri Incident Report - Mechanical Equipment Mobile Fires

Summary Çayeli Bakır İşletmeleri incident data displaying any injuries that may have occured for mobile equipment incidents containing "fire" in the incident subtype, comments, circumstances or apparent causes.

														Failure Mode of machine components							
SAP ID	CR Seviyesi	Tarih	Yer altı / Yer üstü	Yer	Operasyon Tipi	Hadise Tipi	Ekipman Tipi	Ekipman No	Yakıt Kaynağı	Isı Kaynağı	Etken Faktörleri	Yangın Söndürme	Ana Sistem	Alt Sistem	Bozulan Ekipman Parçası	Parçanın Bozulma Şekli	Parçanın Bozulma Nedeni	Risk Analizinde Belirtildi mi?	KAS	Düzeltici Faaliyet	
SAP ID	CR Level	Date	UG vs Surface	Location	Operation Type	Incident Type	Equipment Type	Equipment Number	Fuel Source	Heat Source	Contributing Factor	Fire Fighting Method	System	Subsystem	Failed Machine Component	How component fail	Component Failure Cause	Risk Ass. Address this	IIS	Corrective Action	
139513	1	1/15/2023	Underground	880 FWN	Parking	Smoke	Spraymec	27-110	Electrical cable/wiring	Electrical arc	Damage on cable	Self Extinguished	Electrical	Lighting	Electrical Cable/Wiring	Short circuited	Deformation Vibration	Yes	No	Replace and repai	15.01.2023. S
144984	3	4/1/2023	Underground	1000XCS	Driving	Fire	Loader	27-217	Electrical cable/wiring	Electrical arc	Poor maintenance	Handheld fire extii	Electrical	Emergency steering	Electrical Cable/Wiring	Short circuited	Wrong installation		Yes	gplete dismantle	Raporlayan:
	2	5/26/2023	Underground		Operating	Smoke	Anfo	27-145	Electrical socket	Electrical arc	Short circuit	Self Extinguished	Electrical	Horn	Electrical socket	Short circuited	Water ingress	No	No	ace and socket rebi	26.05.2023. S
	1	6/4/2023	Underground	1020	Driving	smoke	Spraymec	27-164	Engine oil	Exhaust	Oil leakage	Water	Engine	Exhaust	Exhaust wraps	Smoke	Oil immersion	Yes	No	ace and leakage c	04.06.2023. O
	1	12/6/2023	Underground		Driving	Smell	Light Vehicle	53ABW654	Rags, cartoon, paper, c	Exhaust	Poor maintenance	NA	Engine	Exhaust	Rubber	Melted	Wrong Installation	No	No	Remove	654 arıtı sürü
	1	12/25/2023	Underground		Driving	Smoke	Jumbo	27-402	Engine oil	Exhaust	Deformation loose conr	Self Extinguished	Engine	Exhaust	Engine Seal	Smoke	Deformation	No	No	Engine Replace	27-402'de mol
166406	2	3/8/2024	Surface	Gallery entran	Starting	Smoke	Light Vehicle	53ACF949	Electrical cable/wiring	Electricity		Self Extinguished	Electrical	Starter	Starter	Smoke	Deformation	No	No	Replace	Bakım çalışan
176481	1	8/8/2024	Underground	880FWS	Operating	Smoke	Jumbo	27-417	Electrical socket	Electricity	Dust and aging	Self Extinguished	Electrical	Electrical panel	Portable lightning plug	Smoke	Overcurrent	No	No	Replace	08.08.2024 ta
178560	1	9/7/2024	Underground	860	Operating	Spark	Bolter	27-416	Electrical socket	Electricity	Deformation loose conr	Self Extinguished	Electrical	Electrical panel	Electrical socket	Melted	Deformation	No	No	Replace	07/09/2024 24
	2	7/5/2024	Surface	Surface	Driving	Melted Cov	Robot	27-162	Rubber Cover	Exhaust	Exhaust heat	Self Extinguished	Engine	Exhaust	Rubber cover	Melted	Wrong installation	Yes	No	Replace	Periyodik bak
	2	7/10/2024	Surface	Surface	Operating	Smoke	Mikser	27-108	Electrical socket	Starter	Deformation loose conr	Self Extinguished	Engine	Starter	starter	Melted	Loose connection	No	No	Replace and PM c	Marş motoru (
	1	8/8/2024	Underground	880FWS	Operating	Smoke	Jumbo	27-417	Power supply	Electrical arc	Dust and aging	Self Extinguished	Electrical	Lighting	Electrical socket	Short circuited	Deformation	No	No	Replace	08.08.2024 ta
	1	9/7/2024	Underground	860	Operating	Spark	Bolter	27-416	Electrical socket	Electrical arc	Deformation loose conr	Self Extinguished	Electrical	380V panel	Electrical board	Short circuited	Loose connection	No	No	Replace	07/09/2024 24
	2	10/17/2024	Surface	Surface	Operating	Smoke	Light Vehicle	53EE125 Kogs	Electrical button	Electricity		Self Extinguished	Electrical	Lighting	Electrical Cable/Wiring	Short circuited	Deformation	No	No	Repair	17.10.2024 ta
	2	10/28/2024	Underground		Operating	Smoke	Mikser	27-163	Electrical socket	Electrical arc	Poor design	Self Extinguished	Electrical	Electrical cable	Electrical socket	Short circuited	Deformation	No	No	Repair	27-163 makin
	1	11/1/2024	Underground			Smoke	Backhoe	27-243	Electrical cable/wiring	Exhaust	Poor maintenance	Self Extinguished	Electrical	Electrical cable	Electrical Cable/Wiring	Melted	Loose connection	No	No	Replace	27-243 hidron
	2	11/3/2024	Underground	940	Operating	Smoke	Platform	27-140	Starter insulation	Starter		Self Extinguished	Electrical	Starter	Starter	Melted	Friction	No	No	Replace	03.11.2024 ta
	1	12/19/2024	Underground		Operating	Melted Cab	Loader	27-212	Electrical cable/wiring	Electrical arc	Poor maintenance	Self Extinguished	Engine	Electrical cable	Electrical Cable/Wiring	Melted	Friction	No	No	Replace	9.12.2024 tarl

Şekil 5. Yangın olaylarının detaylı kayıt altına alınması

Ayrıntılı olay raporlama ve araştırma süreci Şekil 6.'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Olay raporlama ve araştırma süreci

2.3. Yangın Olayı İnceleme

Herhangi bir yangın olayı meydana geldiğinde, iş makineleri bakım ekibi kapsamlı bir soruşturma yürütmek üzere bir ekip kurar. Soruşturma şunları içerir:

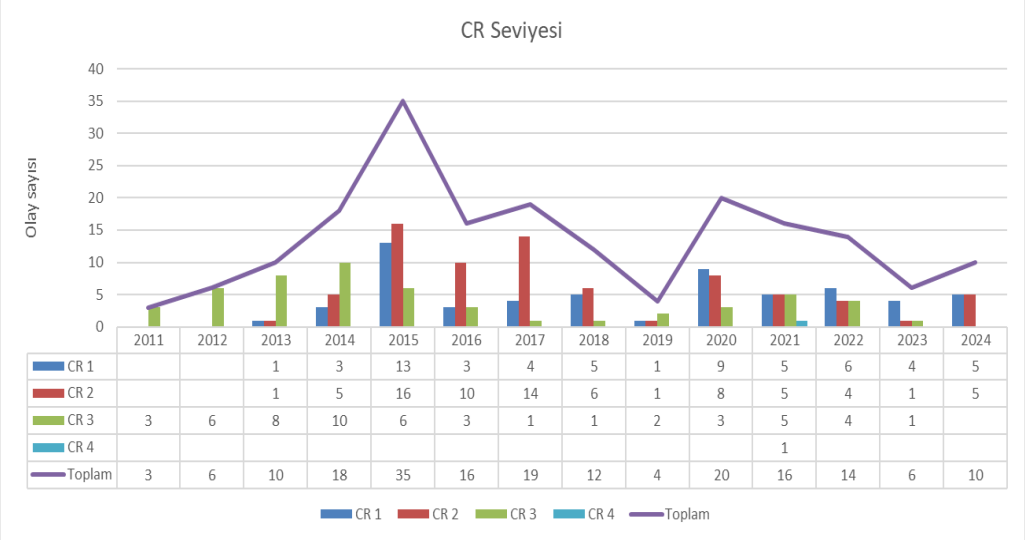
- Yangının kök nedenini belirleme,
- Tüm etken faktörleri belirleme,
- Yangın riskini azaltmak için etkili önleyici ve düzeltici eylemleri belirleme.

Güvenilirlik mühendisi, sahadan alınan fotoğraflar, bakım ve onarım kayıtları, tanık ifadeleri vb. gibi olayla ilgili tüm verileri toplamaktan sorumludur. Kök neden analizi tamamlandıktan sonra, düzeltici ve önleyici eylemler belirlenir ve sorumlu kişiye bir son tarihle atanır. Tüm eylemler ESÇ bölümü ve iş makineleri bakım ekibi tarafından izlenir ve gözden geçirilir.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Yangın Bildirimi Analizi

Eylül 2011'den Aralık 2024'e kadar ÇBİ'de iş makinelerinde yangınla ilgili 189 olay bildirilmiştir. Aşağıdaki şekil, farklı şiddet seviyesi ve değişik türdeki tüm olayları (kablo erimesi, alev, duman ve kıvılcım) göstermektedir (Şekil 7).

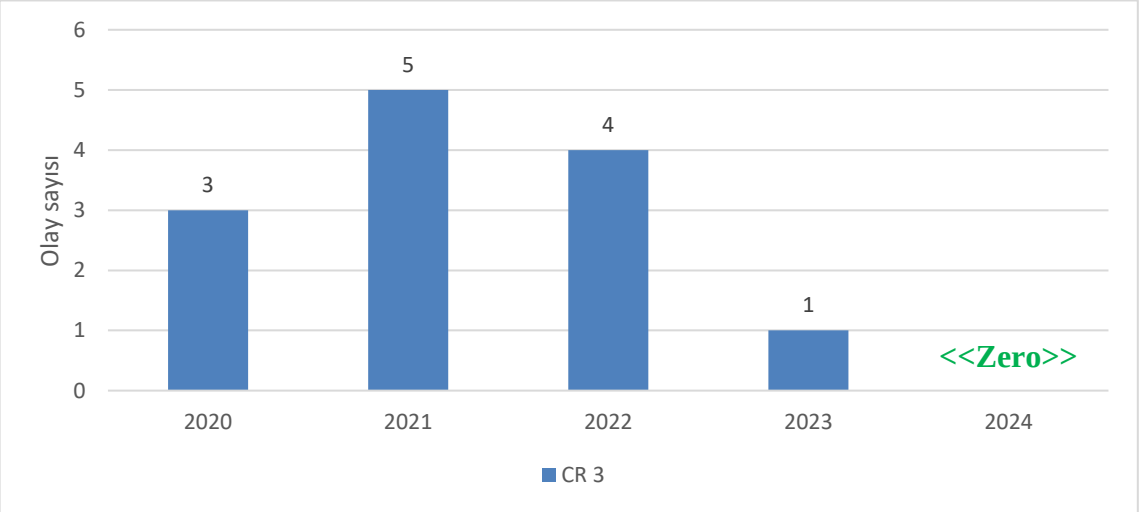


	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
CR 1			1	3	13	3	4	5	1	9	5	6	4	5
CR 2			1	5	16	10	14	6	1	8	5	4	1	5
CR 3	3	6	8	10	6	3	1	1	2	3	5	4	1	
CR 4											1			
Toplam	3	6	10	18	35	16	19	12	4	20	16	14	6	10

Şekil 7. Yangınla ilgili olaylar

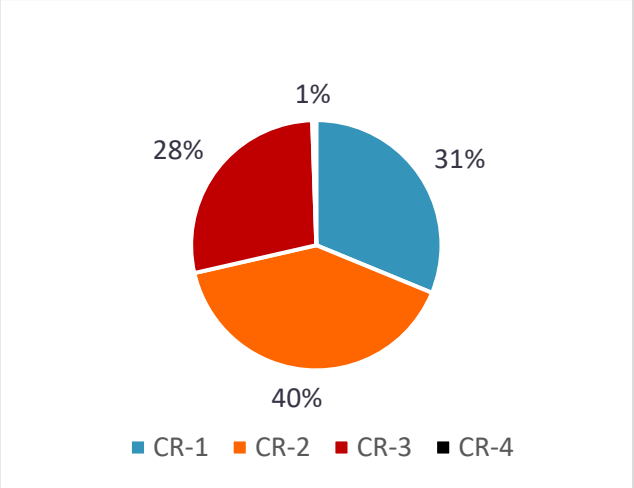
2015 yılında yangın olaylarında bir zirve yaşandı ve bakım ekibi o zamandan beri iş makinelerinde yangının nedenini belirlemek ve kontrol altına almak için kapsamlı bir yangın önleme kampanyası başlatmıştır. Bu yangın önleme çabaları önümüzdeki 4 yılda daha az yangın olayıyla sonuçlanırken, beşinci yıl olan 2020'de olaylar tekrar artmaya başlamıştır. 2021'de halihazırda iki yangın olayı yaşanmıştır. Bunlardan biri kiralık hafif bir aracı içeren CR-4 seviyesindeki yangın olayı olup, ÇBİ tarihindeki en tehlikeli yangın olarak kayda geçmiştir. Bu yangın olayı yangın önleme programı için farkındalığın artmasına da neden olmuştur.

2021'den sonra CR-3 seviyesindeki olaylar 2024'e kadar azalmaya başlamıştır. 2024'te herhangi bir CR-3 seviyesinde açık alev olayı yaşanmamıştır (Şekil 8).



Şekil 8. İş makinelerinde yaşanan açık alevli olaylar

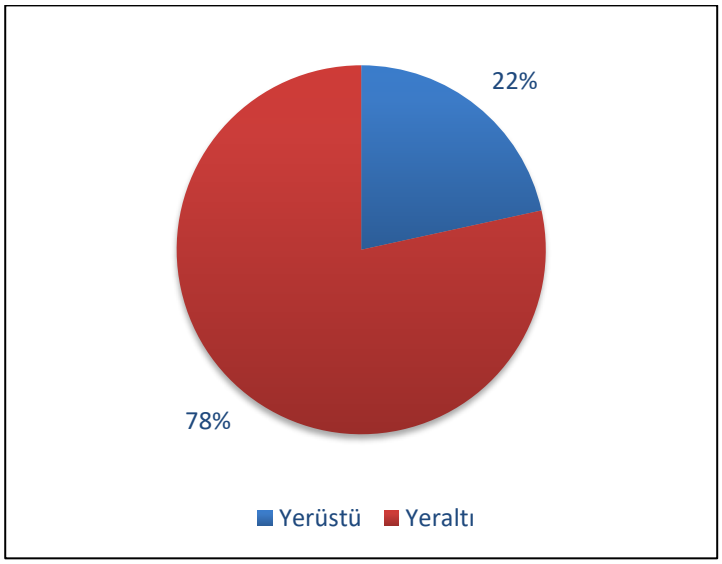
CR-1, 2, 3 seviyesindeki olaylar 2011-2024 yılları arasında hemen hemen eşit sayıda yaşanmıştır (Şekil 9).



Şekil 9. Yangın olaylarının seviyelerine göre dağılımı (2011-2024)

3.1.1. Yangın olaylarının yeri

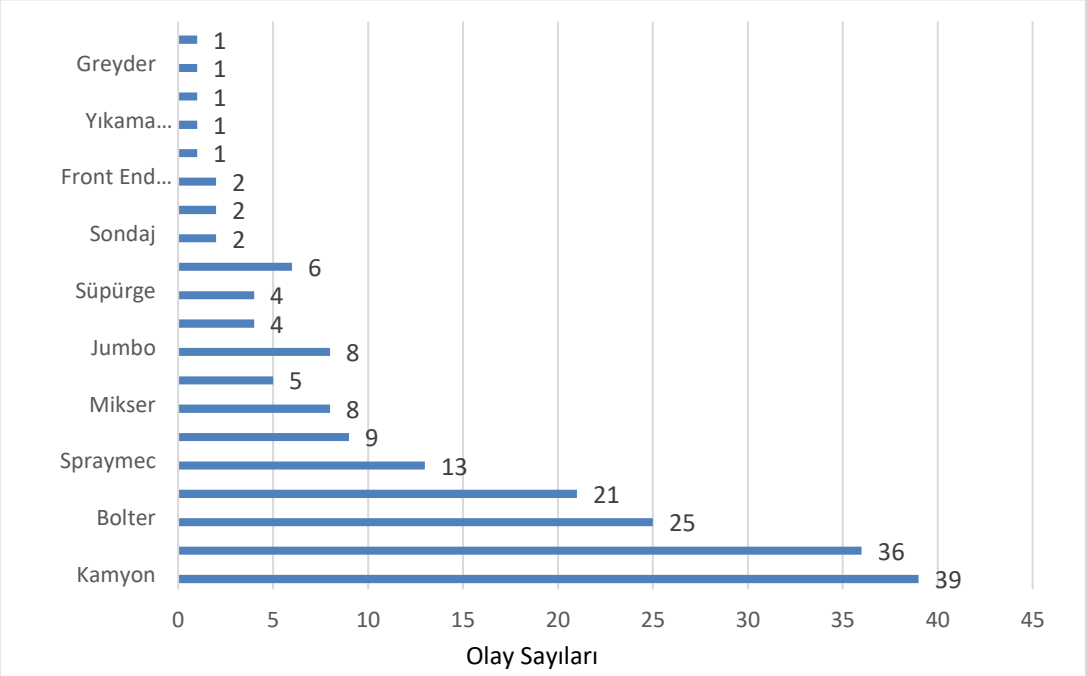
Yangın olaylarının çoğu yeraltında (%78) meydana gelmiştir (Şekil 10). ÇBİ, yeraltı yangınları ile mücadele için acil durum müdahalesi, yangınla mücadele ve tahliye prosedürlerinin yeterli olduğunu doğrulamak için Acil Durum Hazırlığı ve Müdahale Planı ve Kriz Yönetimi prosedürünü periyodik tatbikatlar ve uygulamalar gerçekleştirerek incelemektedir.



Şekil 10. Yangın olaylarının lokasyona göre dağılımı

3.1.2. Ekipman tipine göre yangın olayları

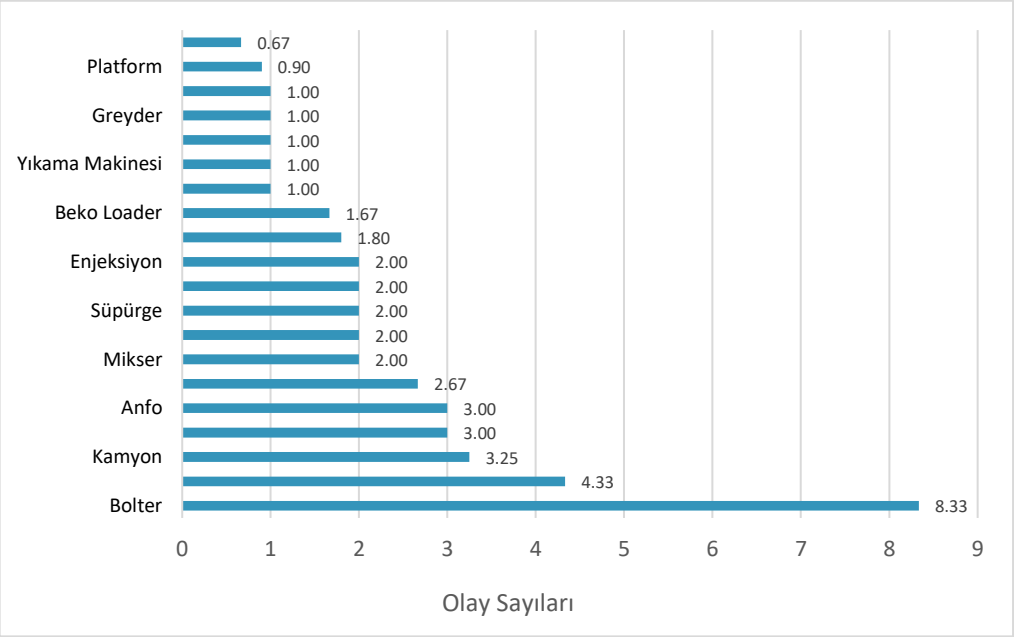
Yangın olaylarında gerekli önlemleri almak için yangın olaylarının hangi iş makinesi tipinde daha çok olduğunu tespit etmek gerekmektedir. Yangın olayları incelendiğinde, sayı olarak diğer iş makinesi tiplerinden fazla olduğu için, kamyon ve hafif araçlarda en fazla yangın olayı yaşanmıştır (Şekil 11). ÇBİ maden sahasında, zamanla değişse bile ortalama olarak 12 kamyon ve 14 hafif araç yeraltı operasyonlarında kullanılmıştır.



Şekil 11. Ekipman tipine göre yangın olayları

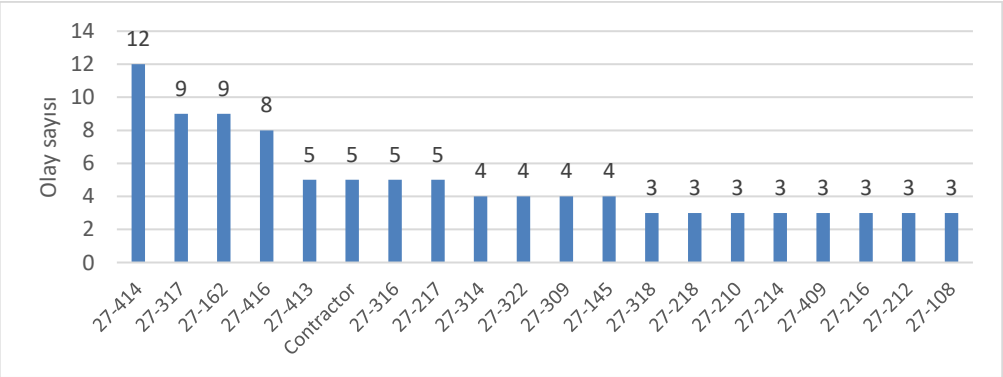
Yangın kritikliğini belirlemek için iş makinesi tiplerine göre yangın olayları ortalamalarına bakmak daha doğru bir sonuç vermektedir (Şekil 12). Şekil 12'de görüldüğü gibi, bolter, spraymec (beton püskürtme) ve yükleyici makineleri, yangın olaylarının çoğunlukla yaşandığı iş makineleridir. Bolter ve spraymeclerdeki yangınların ana kaynağının elektrik tesisatından kaynaklandığı tespit edilmiştir. Bu iki iş makinesi tipindeki araçlar sürekli betonla çalışmaktadır. Betonun içindeki nem ve diğer kimyasalların elektrik tesisatında ve elektrikle

çalışan cihazlarda sürekli aşınma ve deformasyona neden olmaktadır. Bu verilerin bir sonucu olarak, iş makineleri bakım ekibi, bu kritik iş makinelerinin yangın riskini azaltmak için tüm güvenlik önlemlerini almaktadır.



Şekil 12. Ekipman tipine göre ortalama yangın olayları

Yangın olayı verilerine daha yakından baktığımızda, kritik ve yangın riski en yüksek tüm iş makineleri kolayca tanımlanabilmektedir. Şekil 13'te görüldüğü üzere; bolterlar, spraymecler ve kepçeler ilk sıralarda yer almaktadır.

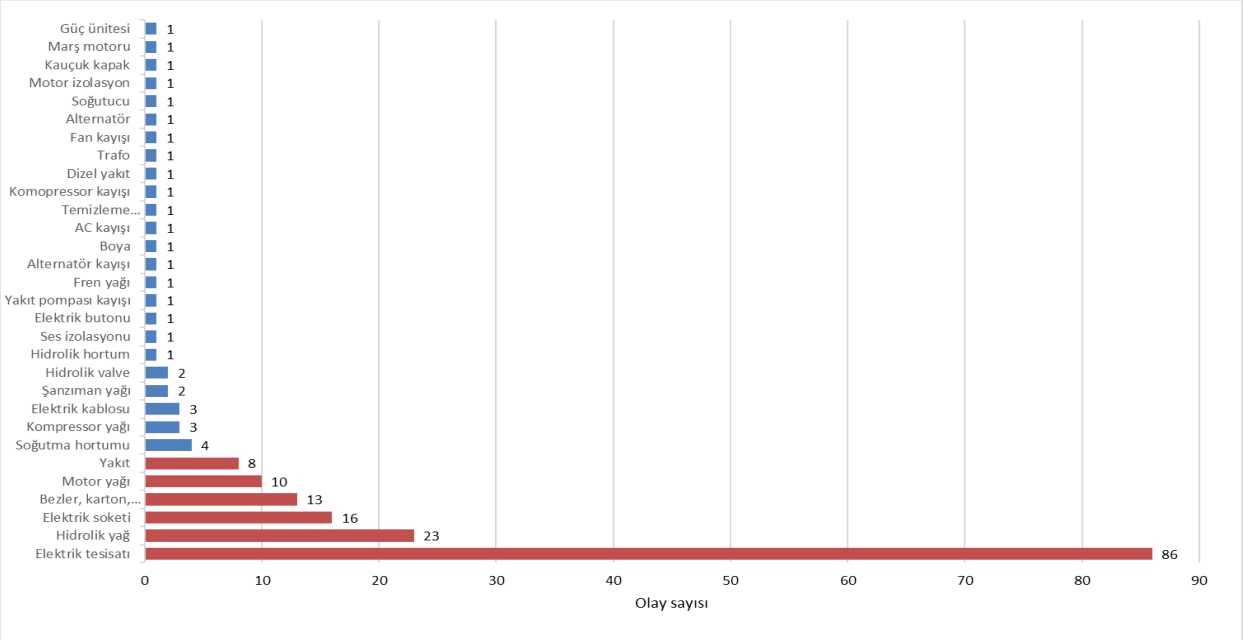


Şekil 13. Ekipmana göre yangın olayları

3.1.3. Yangın yakıt ve ısı kaynakları

Yangın olaylarının birçoğunda birden fazla yakıt ve ısı kaynağı tespit edilmiştir. Ancak verilerde yalnızca en önemlileri kaydedilmiş ve ikincil önlemde olan yakıt ve ısı kaynakları notlar kısmında belirtilmiştir.

İş makinelerinde meydana gelen yangınlardaki yakıt kaynaklarının çoğunluğu elektrik kabloları ve soketleri, hidrolik yağ ve yanıcı malzemelerdir (Şekil 14). Özellikle mazot, hidrolik yağlar gibi yanıcı sıvılar yangın riski taşımaktadır. Risk analizi ve ilgili önleyici tedbirler sırasında yanıcı sıvı taşıyan borulara, hortumlara ve bağlantı parçalarına özel dikkat gösterilmesi gerekmektedir.



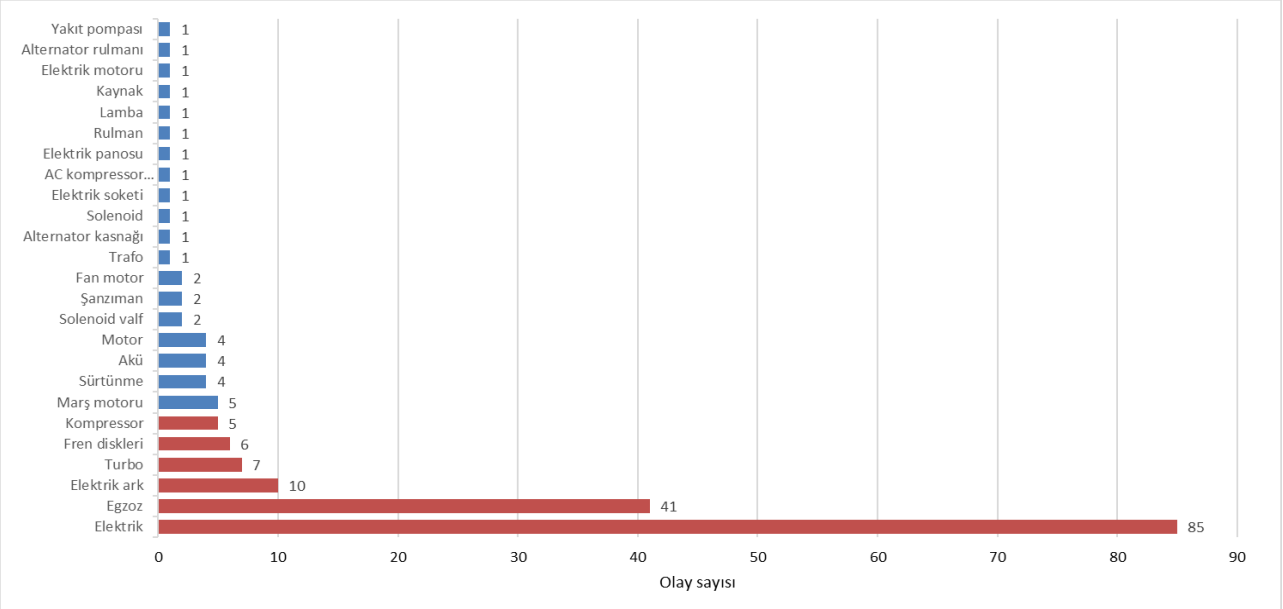
Şekil 14. Olayların yakıt kaynağına göre dağılımı

Yangın olaylarının ısı kaynakları incelendiğinde yakıt kaynaklarına benzer şekilde en fazla ısı kaynağının elektrik bağlantılarının ve kablolarının olduğunu görülmektedir (Şekil 15). Elektrik ısı kaynaklarına ek olarak dizel motorlar ve buna bağlı egzoz parçaları da (egzoz manifoldu, turbo, egzoz boruları, egzoz koruma) belli başlı ısı kaynakları olarak ortaya çıkmaktadır.

Isı kaynaklarının yangına etkisinden dolayı, iş makineleri bakım ekibi sıcak yüzeyler etrafındaki elektrik tesisatının, hortumların, boruların ve bağlantı parçalarının bakımına ve tamirine özellikle dikkat etmektedir. Bu bildirinin ilerleyen bölümlerinde ayrıntılı olarak açıklanan birkaç iyileştirme, ısı kaynaklarına yakın ve yangın riski yüksek olan elektrik parçalarının korumasını sağlaması için gerçekleştirilmiştir.

Motorların etrafındaki yangına karşı birçok önlem alınmış olsa da yanıcı sıvının bir motorun sıcak yüzeyleriyle temas etmesiyle ilgili birkaç yangın olayı meydana gelmiştir. Bu, tüm iyileştirmelerin bakım ve işletme bölümleriyle ortak olarak takip edilmesi gerektiğini göstermektedir.

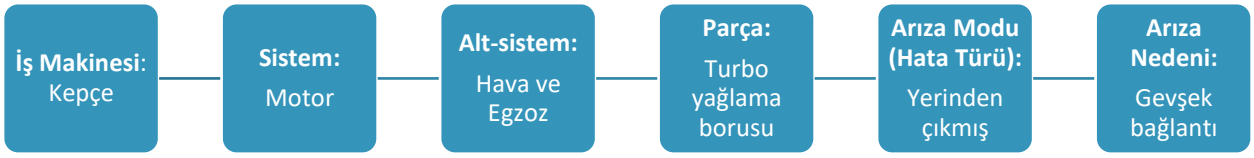
Kompresör, şanzıman, AC sistemleriyle ilgili birkaç olay yaşanmıştır (Şekil 15). Ancak bu sistemler dizel motor ve elektrikli bileşenler kadar kritik ve önemli olarak kabul edilmemektedir.



Şekil 15. Olayların ısı kaynağına göre dağılımı

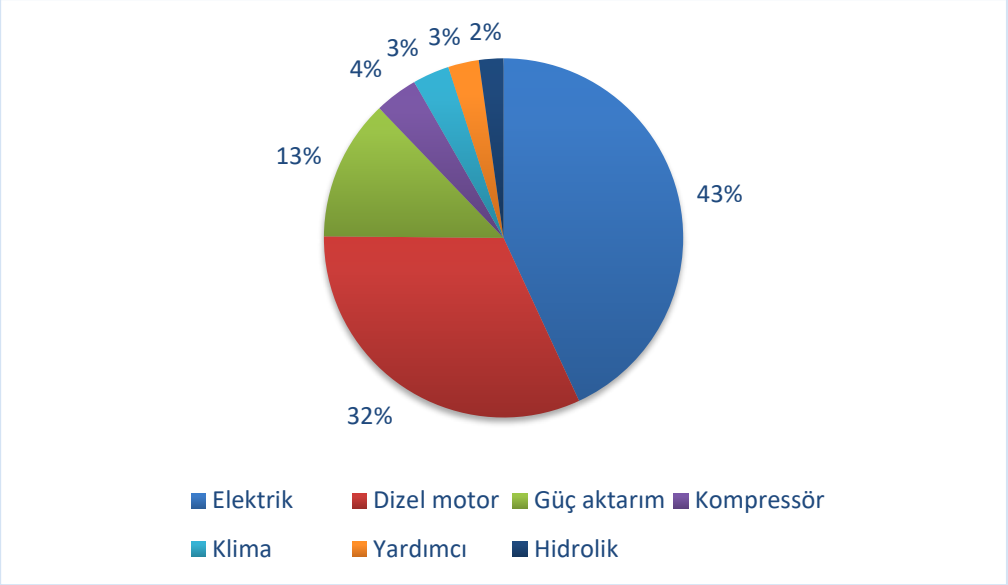
3.1.4. Sistem ve alt sistemler

İş makineleri üzerindeki yangın riski yüksek olan sistemlerin tespit edilmesi için her bir olaydan sonra kök neden analizi yapılarak gerekli aksiyonların alınması gerekmektedir. Doğru aksiyonların tespit edilmesi ve tam olarak yerine getirilmesi için yangına neden olan tüm sistemlerin ve alt-sistemlerin, parçaların, arıza modlarının ve olay nedenlerinin tam olarak belirlenmesi gerekmektedir (Şekil 16).



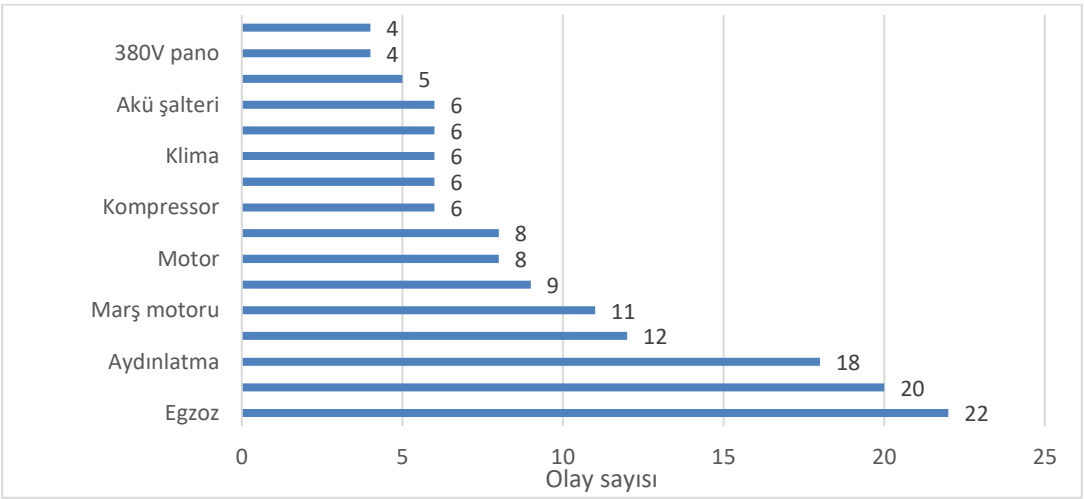
Şekil 16. Yangın olaylarının incelenme metodolojisi

Şekil 17, iş makinelerinde en fazla yangın oluşan sistemleri tanımlamaktadır. Önceki şekillerden de anlaşılacağı üzere, elektrik ve dizel motor en kritik sistemlerdir. İş makineleri bakım ekibinin yangın önleme çabaları daha çok bu yangına yatkın sistemlere karşı olmaktadır. Risk analizlerinde en kritik olan sistemler göz önünde bulundurularak gerekli düzeltici ve önleyici tedbirler alınmaktadır.



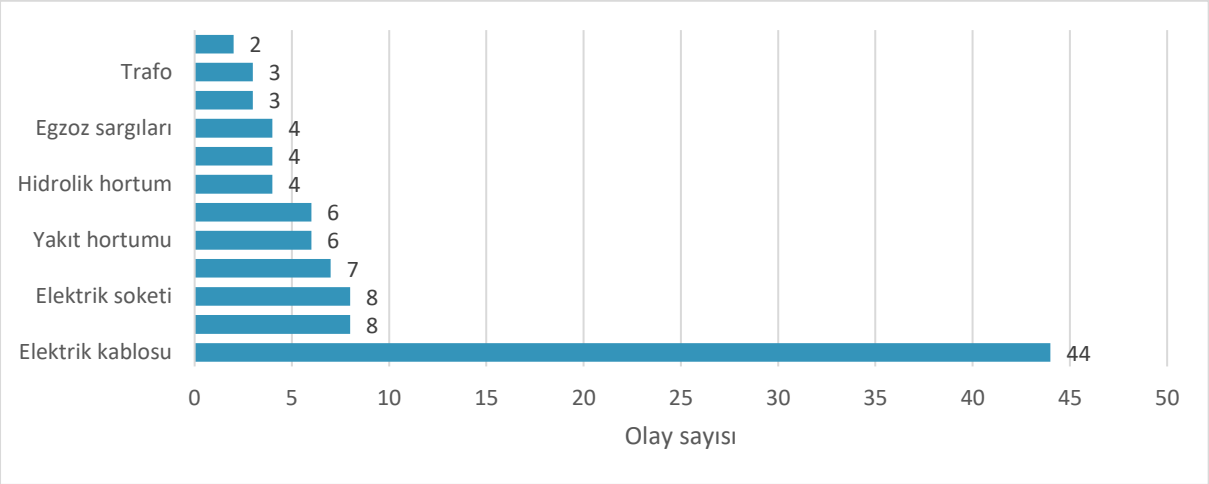
Şekil 17. İş makinelerinde yangın oluşan ana sistemler

Şekil 18, iş makineleri yangınlarının iş makinelerinin hangi alt sistemlerinde veya alt bileşenlerinde meydana geldiğini göstermektedir. Alt sistemlerdeki yangın olaylarının ayrıntılı analizi, en sık arızalanan şu bileşenleri tanımlamaktadır; elektrik kablosu izolasyonu, akü kutup başları, marş motoru, turbo şaftı, vb. İş makineleri bakım ekibi, önleyici tedbirleri tasarlarken bu bilgileri dikkate almaktadır.



Şekil 18. İş makinelerinde yangın oluşan alt-sistemler (%80'i içermektedir)

Şekil 19, iş makinelerinde meydana gelen yangın olaylarının parça detayında incelenmesi, iş makineleri bakım ekibine risk yönetimi ve bakım optimizasyonu hakkında yardımcı olmaktadır.



Şekil 19. İş makinelerinde yangın oluşan parçalar (%50'sini içermektedir)

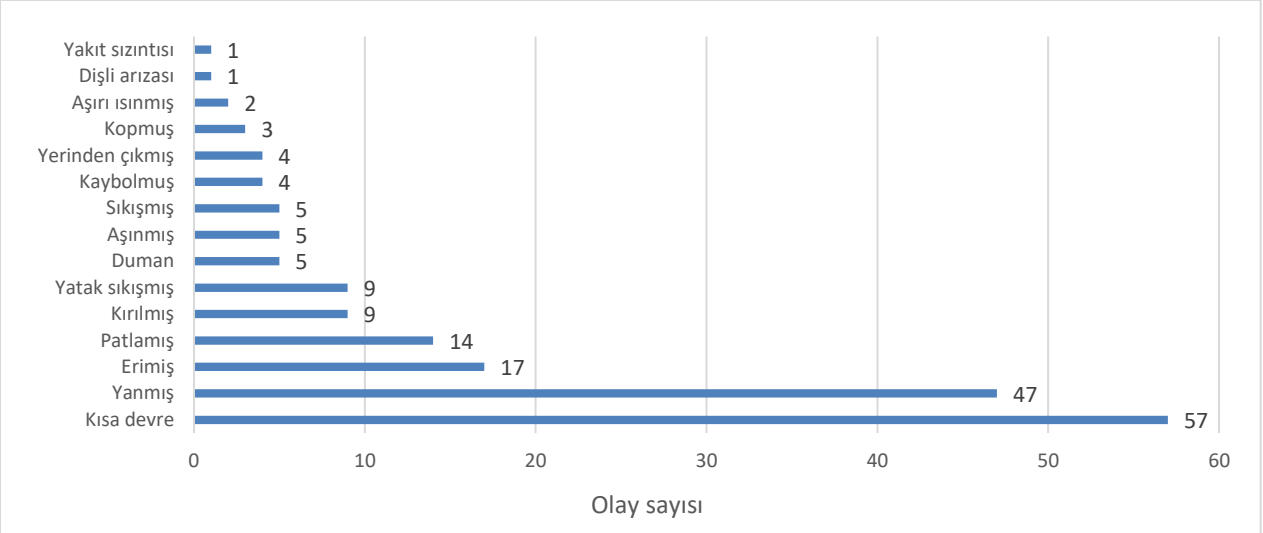
Şekil 20'de arızalı sistem parçalarına dair birkaç örnek bulunmaktadır.

Şekil 20. Kısa devre yapan akü kutup başları (solda) ve marş motoru selenoidi (sağda)

3.1.5. Arıza modları (hata türleri) ve nedenleri

Yangın olaylarında yapılan kök neden analizlerinde bir sonraki aşama, arıza modlarının (hata türlerinin) ve nedenlerinin tespit edilmesidir. Arıza nedenleri etkin ve verimli önleyici ve düzeltici faaliyetlerin tespit edilmesi için önemlidir.

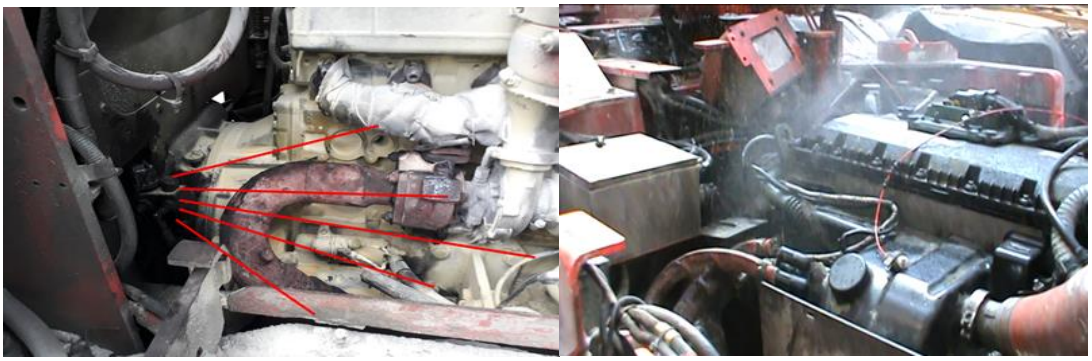
Elektrikli parçaların arıza modu, yüksek akım ve kısa devrelerden kaynaklanan yüksek sıcaklıklarla ilişkilidir (Şekil 21-22).



Şekil 21. Arıza modları

Şekil 22. Elektrik soketi gevşek bağlantıdan dolayı yanmış

Hidrolik hortumların arıza modları aşınma, patlama ve sızıntı şeklinde gerçekleşmektedir. Bu arıza sonucu yanıcı olan hidrolik yağ sıcak yüzeylere temas etmekte ve bunun sonucunda da yangın olayı meydana gelmektedir (Şekil 23).



Şekil 23. Bolter'deki kırık hidrolik bağlantı parçasından (sol resim), yükleyicideki patlamış hidrolik yağ hortumundan (sağ resim), basınç altında atomize olmuş hidrolik yağın motor bileşenlerinin (turbo ve egzoz) sıcak yüzeyleriyle temas etmesi ve açık alevli yangın meydana gelmesi

Mekanik parçalarda ortaya çıkan sürtünmenin neden olduğu birkaç yangın olayı meydana gelmiştir. Örneğin, yağlama eksikliğinden dolayı sıkışmış klima kompresör yatağından çıkan kıvılcımlar, kazıcı yükleyicilerin motor ses izolasyonunda açık alevli iki yangın olayına neden olmuştur (Şekil 24). Bu olaylardan sonra, kazıcı yükleyicilere yangın söndürme sistemleri montajı yapılarak motor bölgesindeki yanıcı ses izolasyonları (yakıt kaynakları) ortadan kaldırılmıştır.

Şekil 24. Motor kaputunda bulunan ses izolasyonunda yağsızlıktan dolayı sıkışmış olan klima kompresöründen yayılan kıvılcımlardan dolayı yangın çıkması

3.2. Risk Azaltma Çalışmaları

Bu bildiride bahsi geçen yangın olaylarının çoğu Şekil 17.'de bahsedildiği gibi dört ana sistemde meydana gelmiştir. Bu yangınlar;

- %43 elektrik, çoğunlukla kablo tesisatı ile ilgilidir.
- %32 dizel motorlar, çoğunlukla sıcak yüzeyler ve sıvı sızıntısıyla ilgilidir.
- %13 güç aktarma organları, çoğunlukla fren ve şanzıman arızasıyla ilgilidir.
- %4 hidrolik sistem, çoğunlukla hortum patlamaları ve yağ sızıntısıyla ilgilidir.

Önceki bölümlerde tanımlanmış ve açıklanmış olan yangın olaylarına neden olan arızaların kök nedenlerine göre risk azaltma stratejileri, iş makineleri bakım ekibi tarafından tasarlanarak geliştirilmekte ve uygulanmaktadır.

3.2.1. Risk analizi

Yangın, çalışanların sağlığı ve güvenliği için büyük bir risk oluşturduğundan, iş makineleri bakım ekibi 2014 yılında yangın olaylarını daha detaylı ve dikkatli incelemeye başlamıştır. Detaylı veri toplamanın ardından, tüm ilgili veriler iş makineleri güvenilirlik ekibi tarafından analiz edilmiştir. Yangın riskini azaltmada birinci öncelik yangının önlenmesi, ikinci öncelik ise bütün tedbirlere rağmen meydana gelen yangınların söndürülmesi olmuştur. Bu nedenle, iş makineleri bakım ekibi ilk önce yangın olaylarının kök nedenini araştırarak yangın olaylarını önlemek için çalışmalar yapmıştır.

En az 15 yıllık yangın önleme ve söndürme, dizel motor, elektrik ve hidrolik deneyimine sahip, konu hakkında uzman kişilerden oluşan iş makineleri bakım ekibi, iş makinelerindeki yangınlarla ilişkili riskleri ortaya çıkarmak, kök nedenleri tespit etmek ve uygun kontrol önlemlerini oluşturmak için 2015 yılından itibaren detaylı çalışmalar yapmıştır. Her bir iş makinesi tipine özel risk değerlendirmeleri yapılmış ve TS EN ISO 19296 Madencilik - Yeraltında Çalışan

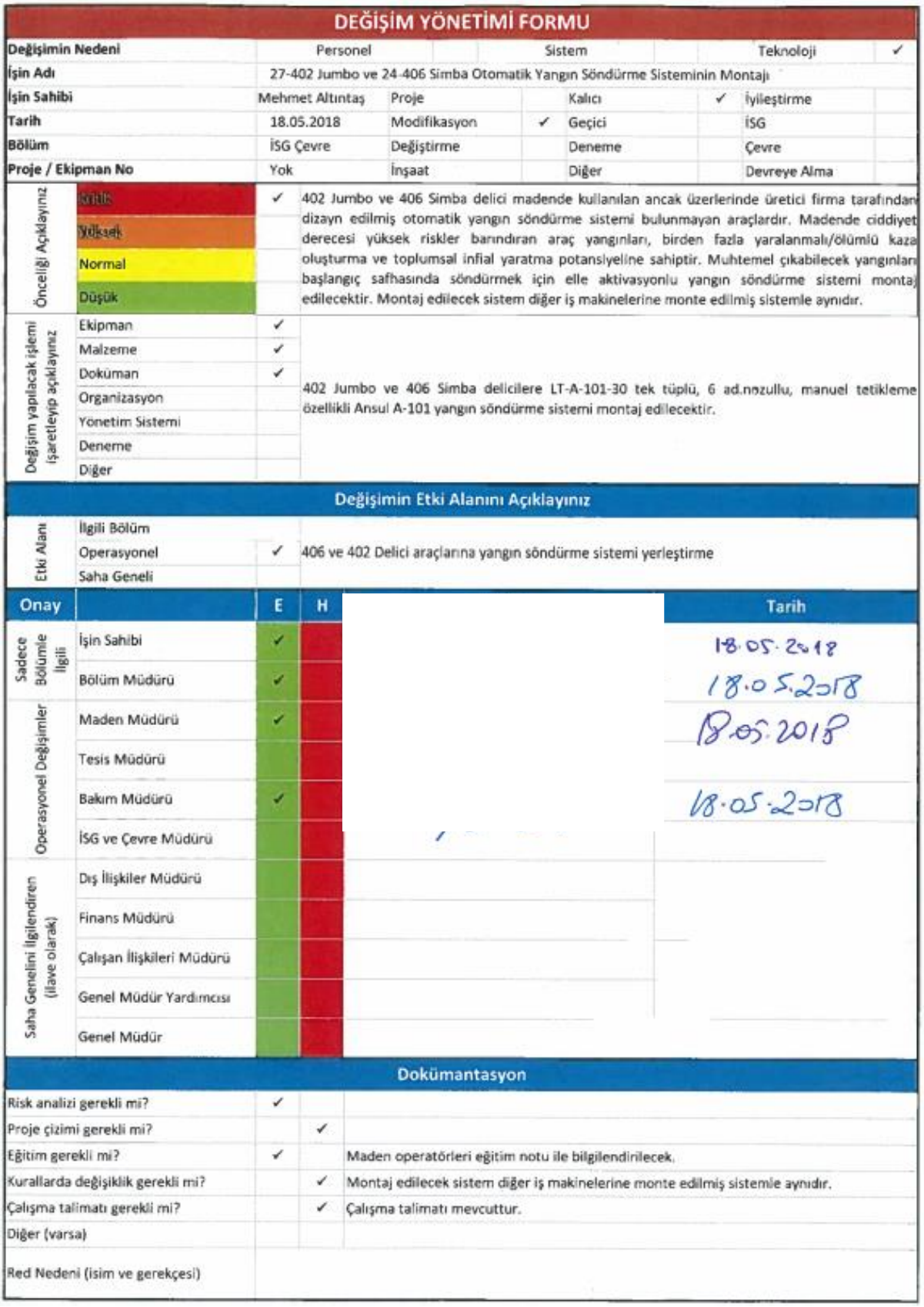
Seyyar Makinalar - Makina Güvenliği standardına uygun olacak şekilde iş makinelerinde kontrol önlemleri uygulanmıştır (Şekil 25).

Equipment Number	Function (Operasyon veya İşlem)	Operation / Failure Mode (İşlem / Arıza Modu)	Heat Source (Isı Kaynağı)	Contributing Factors (Etken Faktörler)	Fuel Source (Yakıt Kaynağı)	Hazard (Tehlike)	Undesired Outcome (İstenilmeyen Sonuç)	UNCONTROLLED RISK RANKING: Consequence (Sonuç)	Likelihood (Olasılık)	Risk Ranking (Risk)	Risk Ranking (Risk)	CONTROL STRATEGY: Existing Controls (Mevcut Kontroller)	RESIDUAL RISK RANKING: Consequence (Sonuç)	Likelihood (Olasılık)	Risk Ranking (Risk)	Risk Ranking (Risk)	RISK REDUCTION PLAN: Recommended Action To Improve Existing Controls	By Who	By When	REVISED RESIDUAL RISK: Consequence	Likelihood	Risk Ranking	Risk Ranking
27-163	Turbo çalışması	Yağ hortumunun patlaması ve turboya yağ gelmesi.	Turbo	Hortum bağlantılarının zayıf olması. Hortumun hasardan dolayı yağ kaçırması. Hortumun titreşimden dolayı aşınarak yağ kaçırması.	Yağ	Yangın	Aracın yanması	4	3	12	High	Taşınabilir yangın söndürücü Otomatik yangın söndürme sistemi. Düzenli PM yapılması. Hortum ve bağlantı elemanlarının talimatlara uygun yapılması.	4	1	4	Low						0	
27-163	Turbo çalışması	Turbonun yağ keçesinin bozularak hava emiş sistemine yağ karışması.	Turbo	Yağın kirli olması. Turbodaki aşırı titreşim. Turbo yağ besleme ve tahliye borularının tıkalı olması. Turbo rulman ömrünü tamamlaması.	Yağ	Yangın	Motorun kendi kendine çalışması, yanması	4	2	8	Moderate	Yangın söndürme sistemi Toolbox eğitimleri	4	1	4	Low							
27-163	Turbo çalışması	Sigara izmariti ile turboda yangın oluşması	Turbo	Yetersiz eğitim. Düzen tertip eksikliği.	Yağ ve yakıt	Yangın	Aracın yanması	4	2	8	Moderate	Yangın söndürme sistemi Toolbox eğitimleri	4	1	4	Low							
27-163	Turbo çalışması	Bez, üstübu vb. yanıcı malzeme gelmesi	Turbo	Yetersiz eğitim. Düzen tertip eksikliği.	Yağ ve yakıt	Yangın	Aracın yanması	4	2	8	Moderate	Yangın söndürme sistemi Toolbox eğitimleri	4	1	4	Low							
27-163	Turbo çalışması	Alevlenenen kimyasal kullanarak turbo etrafında yangın çıkması.	Turbo	Yetersiz eğitim. Kimyasalların kullanımında dikkatsizlik.	Aerosol	Yangın	Aracın yanması.	4	2	8	Moderate	Yanıcı aerosollar atölyede ve sahada kullanılmıyor.	4	1	4	Low							
27-163	Turbo çalışması	Kablo, hortum vb. malzeme teması ile turbo etrafından yangın çıkması	Turbo	Bağlantı yerlerinin kopması. Uygun olmayan sıcak bölgelerden yanıcı malzeme geçirilmesi. Uygun olmayan malzeme kullanılması. Titreşimden dolayı bağlantı parçalarının kırılması.	Yağ ve yakıt	Yangın	Aracın yanması.	4	2	8	Moderate	Kablo ve hortum turbodan uzakta monte edilmiştir.	4	1	4	Low							

Şekil 25. İş makinesi özelinde yapılan yangın risk analizleri

İkinci olarak, elektrik sistemleriyle ilgili yangın olayları çok iyi takip edilmiş ve tüm karşı tedbirler iş makineleri bakım birimi tarafından geliştirilerek uygulanmıştır.

Bu bildiride bahsedilen teknik değişiklikler Değişim Yönetimi prosedürlerine uygun şekilde yapılarak kayıt altına alınmış ve her bir değişiklik için risk analizleri yapılmıştır (Şekil 26-27).



DEĞİŞİM YÖNETİMİ FORMU

Değişimin Nedeni		Personel		Sistem		Teknoloji	✓
İşin Adı		27-402 Jumbo ve 24-406 Simba Otomatik Yangın Söndürme Sisteminin Montajı					
İşin Sahibi		Mehmet Altıntaş	Proje		Kalıcı	✓	İyileştirme
Tarih		18.05.2018	Modifikasyon	✓	Geçici		İSG
Bölüm		İSG Çevre	Değiştirme		Deneme		Çevre
Proje / Ekipman No		Yok	İnşaat		Diğer		Devreye Alma
Önceliği Açıklayınız	Kritik	✓	402 Jumbo ve 406 Simba delici madende kullanılan ancak üzerlerinde üretici firma tarafından dizayn edilmiş otomatik yangın söndürme sistemi bulunmayan araçlardır. Madende ciddiyet derecesi yüksek riskler barındıran araç yangınları, birden fazla yaralanmalı/ölümlü kaza oluşturma ve toplumsal infial yaratma potansiyeline sahiptir. Muhtemel çıkabilecek yangınları başlangıç safhasında söndürmek için elle aktivasyonlu yangın söndürme sistemi montaj edilecektir. Montaj edilecek sistem diğer iş makinelerine monte edilmiş sistemle aynıdır.					
	Yüksek						
	Normal						
	Düşük						
Değişim yapılacak işlemi işaretleyip açıklayınız	Ekipman	✓	402 Jumbo ve 406 Simba delicilere LT-A-101-30 tek tüplü, 6 adnozullu, manuel tetikleme özellikli Ansul A-101 yangın söndürme sistemi montaj edilecektir.				
	Malzeme	✓					
	Doküman	✓					
	Organizasyon						
	Yönetim Sistemi						
	Deneme						
	Diğer						

Değişimin Etki Alanını Açıklayınız

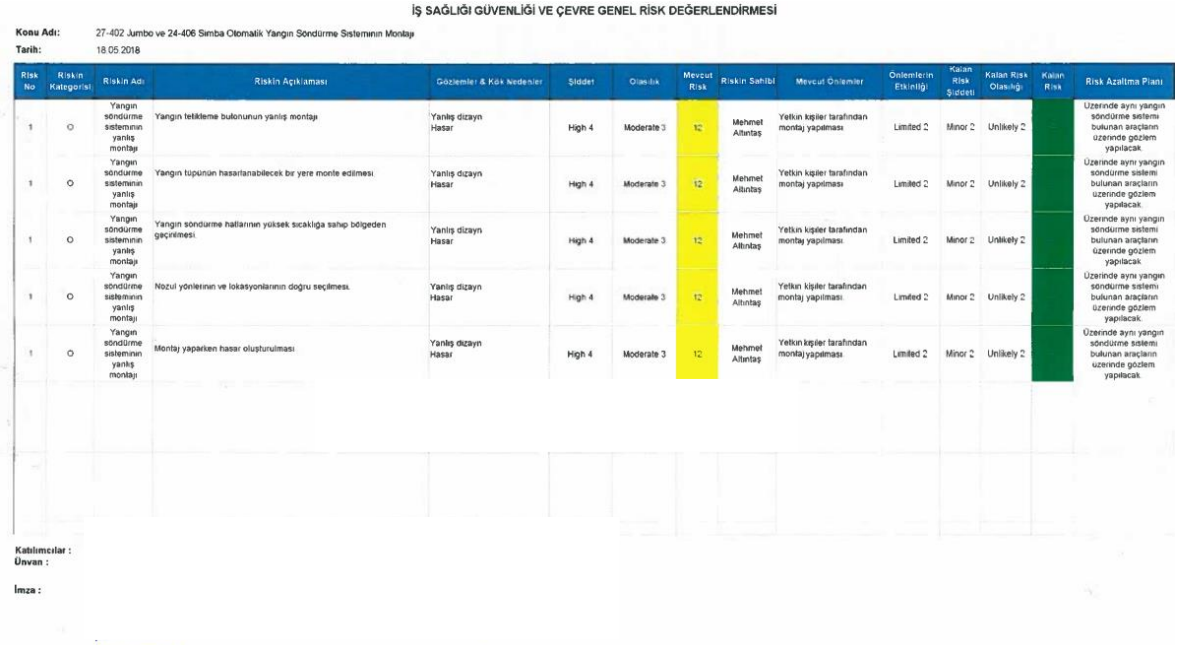
Etki Alanı	İlgili Bölüm		
	Operasyonel	✓	406 ve 402 Delici araçlarına yangın söndürme sistemi yerleştirme
	Saha Geneli		

Onay		E	H	Tarih
Sadece Bölümle İlgili	İşin Sahibi	✓		18.05.2018
	Bölüm Müdürü	✓		18.05.2018
Operasyonel Değişimler	Maden Müdürü	✓		18.05.2018
	Tesis Müdürü			
	Bakım Müdürü	✓		18.05.2018
	İSG ve Çevre Müdürü			
Saha Genelini İlgilendiren (ilave olarak)	Dış İlişkiler Müdürü			
	Finans Müdürü			
	Çalışan İlişkileri Müdürü			
	Genel Müdür Yardımcısı			
	Genel Müdür			

Dokümantasyon

Risk analizi gerekli mi?	✓		
Proje çizimi gerekli mi?		✓	
Eğitim gerekli mi?	✓		Maden operatörleri eğitim notu ile bilgilendirilecek.
Kurallarda değişiklik gerekli mi?		✓	Montaj edilecek sistem diğer iş makinelerine monte edilmiş sistemle aynıdır.
Çalışma talimatı gerekli mi?		✓	Çalışma talimatı mevcuttur.
Diğer (varsa)			
Red Nedeni (isim ve gerekçesi)			

Şekil 26. Değişim yönetim prosedürüne uygun olarak doldurulan form



İŞ SAĞLIĞI GÜVENLİĞİ VE ÇEVRE GENEL RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Konu Adı: 27-402 Jumbo ve 24-406 Simba Otomatik Yangın Söndürme Sisteminin Montajı
Tarih: 18.05.2018

Risk No	Riskin Kategorisi	Riskin Adı	Riskin Açıklaması	Gözlemler & Kök Nedenler	Şiddet	Olasılık	Mevcut Risk	Riskin Sahibi	Mevcut Önlemler	Önlemlerin Etkinliği	Kalan Risk Şiddeti	Kalan Risk Olasılığı	Kalan Risk	Risk Azaltma Planı
1	O	Yangın söndürme sisteminin yanlış montajı	Yangın tetikleme bulonunun yanlış montajı	Yanlış dizayn Hasar	High 4	Moderate 3	12	Mehmet Altıntaş	Yetkin kişiler tarafından montaj yapılması	Limited 2	Minor 2	Unlikely 2		Üzerinde aynı yangın söndürme sistemi bulunan araçların üzerinde gözlem yapılacak.
1	O	Yangın söndürme sisteminin yanlış montajı	Yangın tüpünün hasarlanabilecek bir yere monte edilmesi	Yanlış dizayn Hasar	High 4	Moderate 3	12	Mehmet Altıntaş	Yetkin kişiler tarafından montaj yapılması	Limited 2	Minor 2	Unlikely 2		Üzerinde aynı yangın söndürme sistemi bulunan araçların üzerinde gözlem yapılacak.
1	O	Yangın söndürme sisteminin yanlış montajı	Yangın söndürme hatlarının yüksek sıcaklığa sahip bölgeden geçirilmesi	Yanlış dizayn Hasar	High 4	Moderate 3	12	Mehmet Altıntaş	Yetkin kişiler tarafından montaj yapılması	Limited 2	Minor 2	Unlikely 2		Üzerinde aynı yangın söndürme sistemi bulunan araçların üzerinde gözlem yapılacak.
1	O	Yangın söndürme sisteminin yanlış montajı	Nozul yönlerinin ve lokasyonlarının doğru seçilmesi.	Yanlış dizayn Hasar	High 4	Moderate 3	12	Mehmet Altıntaş	Yetkin kişiler tarafından montaj yapılması	Limited 2	Minor 2	Unlikely 2		Üzerinde aynı yangın söndürme sistemi bulunan araçların üzerinde gözlem yapılacak.
1	O	Yangın söndürme sisteminin yanlış montajı	Montaj yaparken hasar oluşturulması	Yanlış dizayn Hasar	High 4	Moderate 3	12	Mehmet Altıntaş	Yetkin kişiler tarafından montaj yapılması	Limited 2	Minor 2	Unlikely 2		Üzerinde aynı yangın söndürme sistemi bulunan araçların üzerinde gözlem yapılacak.

Katılımcılar :
Ünvan :
İmza :

Şekil 27. Yapılan değişiklikler için risk analizleri

3.2.2. Yangın önleme aksiyonları

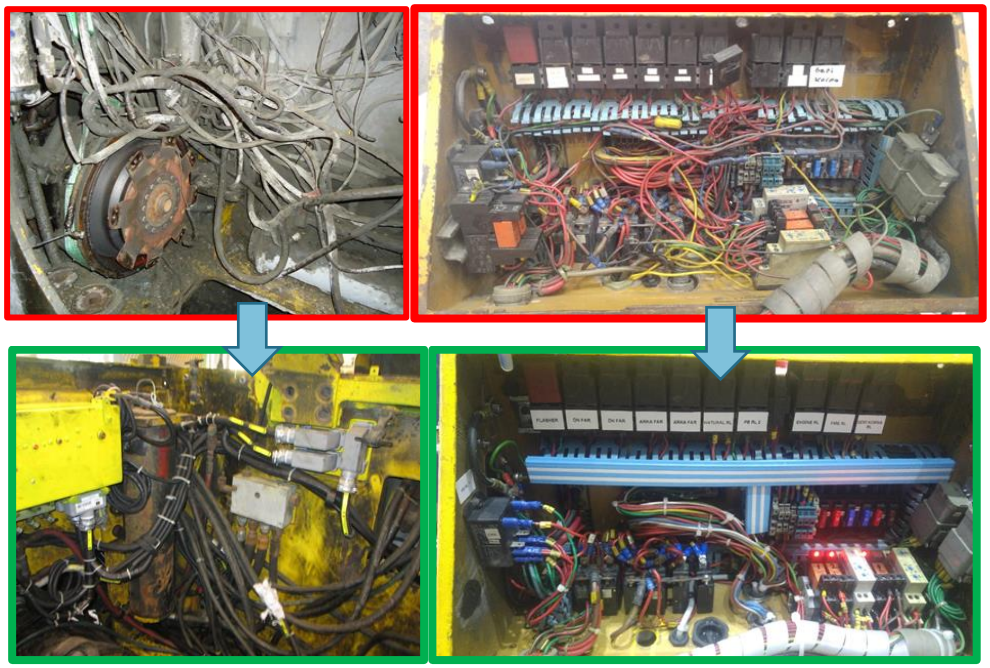
Yapılan kök neden analizleri sonucu yangınları önlemek için tek seferlik iyileştirme çalışmaları yapılmıştır. Bu iyileştirmeler, Şekil 28'deki liste kullanılarak aylık toplantılarda gözden geçirilmekte ve yapılması gereken yeni iyileştirmeler bu listeye eklenmektedir. Bu listenin amacı, her iş makinesi tipi için geliştirilen mevcut tedbirlerimizin sürdürülebilirliğini sağlamak ve her toplantıda iyileştirme yapılabilecek alanları tartışmaktır. Ayrıca, bu iyileştirmelerin sürekliliğini sağlamak için planlı bakım sırasında sürekli kontrol gerektiren eylemler tespit edilmiştir.

Tedbir	Kısım	Amaç	Bolter	Jumbo	Solomatic	Cubex	Kamyon	Kepçe	Robot	Mikser	Platform	Hafif Araç	Tak Tak Kırıcı
Egzoz sargıları ve korumaları	Mekanik	Isı kaynağını ortadan kaldırma					x		x	x			
Hidrolik hortum kılıfları	Mekanik	Yakıt kaynağını ortadan kaldırma					x	x		x			
Elektrik kablosu rotalama	Elektrik	Isı kaynağını ortadan kaldırma					x				x		
Elektrik kablosu yanmaz koruyucu montajı	Elektrik	Yakıt kaynağını ortadan kaldırma	x	x	x		x	x		x			
Akü şalteri yer değişimi	Elektrik	Isı kaynağını ortadan kaldırma					x						
Akü kutup başları plastik koruma	Elektrik	Isı kaynağını ortadan kaldırma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Akü kabı yeri değişimi	Elektrik	Isı kaynağını ortadan kaldırma					x						
Termal kamera ile pano kontrolleri	Elektrik	Isı kaynağını ortadan kaldırma	x	x	x	x			x				
Far hattı iyileştirme	Elektrik	Isı kaynağını ortadan kaldırma					x						
Kullanılmayan kabloların panodan iptali	Elektrik	Isı kaynağını ortadan kaldırma	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Alternatör ve marş motorları plastik koruma	Elektrik	Isı kaynağını ortadan kaldırma					x	x					

Şekil 28. İş makinesi tipine göre yangın önleme tedbirleri

3.2.3. Elektrik iyileştirmeleri

Elektrik tesisat değişimi: İş makineleri ortalama yaşı 15 yıldan fazla olduğu için tüm elektrik kabloları aşınmış, deforme olmuş ve hasar görmüştür. 2014 yılından beri elektrik tesisatları makinelerin risk durumlarına göre öncelik verilerek değiştirilmiştir (Şekil 29-30).



Şekil 29. Kamyon elektrik tesisat değişimi öncesi ve sonrası

Şekil 30. Kepçe elektrik tesisat değişimi öncesi ve sonrası

2014 yılında toplam 31 adet iş makinesinin elektrik tesisatı, operatör paneli, kontrol kutusu ve diğer elektrik parçaları değiştirilmiştir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Elektrik tesisatı değişen iş makineleri sayısı ve kapsamı

Makine tipi	Değişim kapsamı	Adet
Kamyon	Tesisat, operatör paneli, kontrol kutusu	10
Kepçe	Tesisat, operatör paneli, kontrol kutusu	3
Beton püskürtme	Tesisat, operatör paneli, kontrol kutusu	3
Mikser	Tesisat, operatör paneli, kontrol kutusu	4
Yardımcı makineler	Tesisat, operatör paneli	11

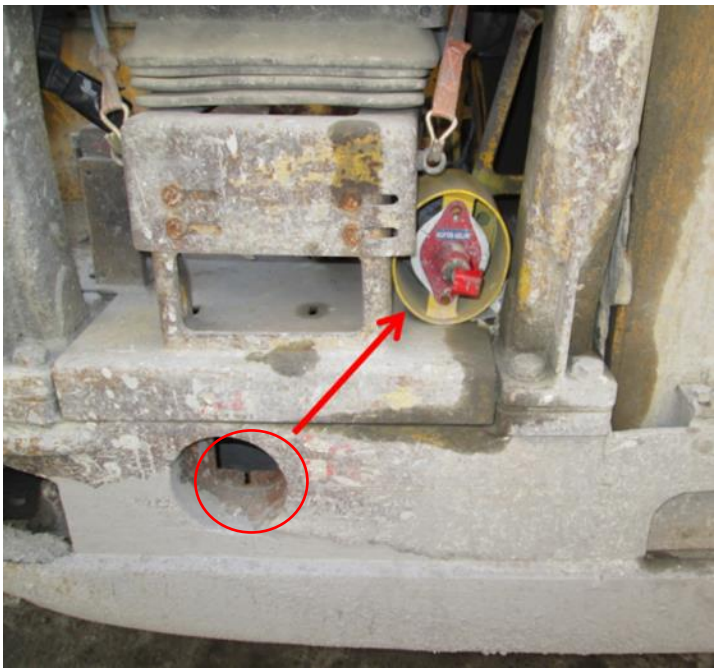
Elektrik tesisat rotalama: Kamyon dizel motorlarının sıcak yüzeyleri etrafında elektrik kablolarıyla ilgili birkaç olay yaşanmıştır. Genellikle, kablo demetlerini sıcak yüzeylerden uzakta tutan plastik kelepçeler sıcaklığın etkisi ile kopmuş ve elektrik kabloları sıcak yüzeylerle temas etmiştir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için elektrik kabloları farklı yerlerden montaj edilmiş ve ısı yayılımını sıcak yüzeylere düşmekten korumak için bir standa yerleştirilmiştir (Şekil 31).

Şekil 31. Elektrik kablolarının montaj değişikliği – yeniden rotalama ve stant montajı

Elektrik tesisat koruması: Bazı elektrik kabloları veya kablo demeti egzoz manifoldu, turbo, egzoz susturucu ve boruları, katalitik konvertör gibi sıcak yüzeylere yakın montaj edilmiştir. Bu kablolar sıcaklığın etkisiyle zamanla deforme olarak ilk önce kısa devreye sebep olmakta, daha sonra da yüksek akım ve sıcak yüzeylerin etkisiyle de açık alevli yangınlara neden olmaktadır. Bundan dolayı sıcak yüzeye yakın olan kablolar eğer mümkünse bir önceki kısımda bahsedildiği gibi farklı rotalardan montaj edilmektedir. Eğer farklı rotalama mümkün değil ise bu kablolar aleve dayanıklı bir kılıf ile korumaya alınmaktadır. Aleve dayanıklı fiberglas malzemeden üretilen kılıflar dikişsiz olarak üretilmiştir. Kılıf, SAE Havacılık Standardı 1072A Tip 2A'ya uygun olup sıcaklık değerleri -54°C ile +260°C aralığındadır (-65°F ile +500°F) (Şekil 32).

Şekil 32. Motor bölgesindeki elektrik kabloların yanmaz kılıf ile korumaya alınması

Elektriksel parça yer değişimi: Kamyon akü şalterinin montaj yeri makine üreticisi tarafından çamur ve sudan çok kolay etkilenecek bir noktada bulunmaktadır. Bu durum bir çok kez kısa devre ve duman olaylarıına neden olmuştur. Bundan dolayı akü şalteri çamur ve sudan daha az etkilenecek bir yere taşınmıştır (Şekil 33).



Şekil 33. Kamyon akü şalteri yeri değişimi (eski montaj yeri kırmızı dairenin içi)

Kamyon ön farları makine üreticisi tarafından egzoz borularına yakın yerleştirildiğinden, belli bir zaman sonra ısıdan dolayı farın plastik muhafazasında ve kablolarında deformasyon meydana gelmiş ve bu durumda birkaç yangın olayının yaşanmasına neden olmuştur. Farları ve elektrik kablolarını ısıdan uzak tutmak için far biraz daha öne alınarak egzoz ısısına karşı korumaya alınmıştır (Şekil 34).

Şekil 34. Kamyon farının yer değişimi

İptal edilen sistemlerin tam olarak devre dışı bırakılması: İptal edilen aydınlatma, elektro-hidrolik valflerin, pompaların bir parçası olan elektrik kablolarının izole edilmemesi nedeniyle birkaç yangın olayı meydana gelmiştir. Bunun sonucunda, kısa devre, kıvılcım ve kablo erimesi olaylarını ortadan kaldırmak için iptal edilen sistemlere ait tüm elektrik kabloları elektrik panolarından sökülerek gerekli elektrik ve hidrolik şema değişiklikleri yapılmıştır.

3.2.4. Mekanik iyileştirmeler

Şekil 17'de belirtildiği gibi iş makinelerinde en fazla yangına neden olan sistemler, dizel motor ve diğer mekanik sistemlerdir. Bu sistemlere ait yakıt ve ısı kaynaklarının analiz edilmesi ve oluşabilecek risklerin değerlendirilmesi yangın olayları önlemek için alınması gereken tedbirleri tespit etmede iş makineleri bakım ekibine yardımcı olmaktadır.

Mekanik sistemlerde meydana gelen yangın olayları, genellikle sıcak yüzeye bir yanıcı maddenin temas etmesi ile oluşmaktadır. Sıcak bir yüzeye yağ püskürtülmesiyle başlayan yangın, kademeli olarak başlamamaktadır. Yüksek basınç altında atomize olmuş olan yanıcı sıvı (genellikle dizel yakıt veya hidrolik yağ), sıcak yüzeyle temas edince güçlü bir yayılımla tutuşmaktadır. Böyle bir yangın, araç sistemi çalışırken ve akümülatörler boşalana kadar basınç altındaki bir sistemden veya hazneden gelen yakıtla beslenebilmektedir. Ayrıca, motora ait radyatör fanı böyle bir yangını oksijenle beslemektedir. Yangın söndürme sistemi, yakıt yükü, devamlı ve yüksek oranda oksijen tedariği, yüksek yüzey sıcaklığı oluşumu olan bir yangını söndürmek için yeterli bir etkiye sahip olmamaktadır. Bu nedenle iş makineleri bakım ekibi, yanıcı sıvı ve sıcak yüzeylerin temasına karşı çeşitli önlemler almaktadır.

Hortum kılıfı: Yangın olayına neden olan en büyük arızalardan biri, patlayan hortumlardan çıkan yanıcı sıvının (yağ ve yakıt) püskürerek sıcak

yüzeylerle temas etmesidir. Burada bahsedilen iki temel nedenden ikincisi olan toz haline getirilmiş yanıcı sıvı püskürmesiyle ilgili riskleri azaltmak için, kritik hidrolik hortumlar belirlenmiş ve bu hortumlar (yakıt veya hidrolik) patlamaya, aleve ve aşınmaya dayanıklı bir kılıf ile korumaya alınmıştır. Kılıf, 50 bara kadar hidrolik hortum patlamalarına ve +100° C'de beş dakikaya kadar 345 barlık iğne deliği sızıntılarına karşı koruma sağlamaktadır. Kılıf hem hidrolik yağ ile hem de dizel yakıtla uyumludur. Bu kılıflar, ISO 3457 İnşaat ve kazı makinaları - Koruyucular - Tarifler ve kurallar standardı ile uyumludur olup MSHA'nın alev direnci gereksinimlerini de karşılamaktadır. Şekil 35'te patlaması durumunda yangına neden olabilecek hortumların kılıfa alındığı görülmektedir.

Şekil 35. Hidrolik ve yakıt hortumların patlamaya, aşınmaya ve aleve dayanıklı kılıfa alınarak atomize olmuş yağın sıcak yüzeyle temasının engellenmesi

Egzoz sargıları: Yukarıda belirtilen yangın olaylarının ikinci temel nedenini ortadan kaldırmak adına dizel motorlara ait egzozlar için alev ve delinmeye dayanıklı sargılar ile sarılmaktadır (Şekil 36-37). Egzoz sargılarının amacı motor etrafındaki yanıcı sıvıların egzoz sıcak yüzeyi ile temasını engellemektir. Egzoz sargıları taş yününden yapılır ve ısı sınırı sürekli maruziyette 1000°C, aralıklı maruziyette ise 1050°C'dir. Sargılar, ekstra güçlendirme ve koruma için paslanmaz bir dış astar ile kaplanmış ve bu astarın üzerine de çelik bir ağ döşenmiştir. Sargılar ayrıca NFPA Spesifikasyonu 701'i

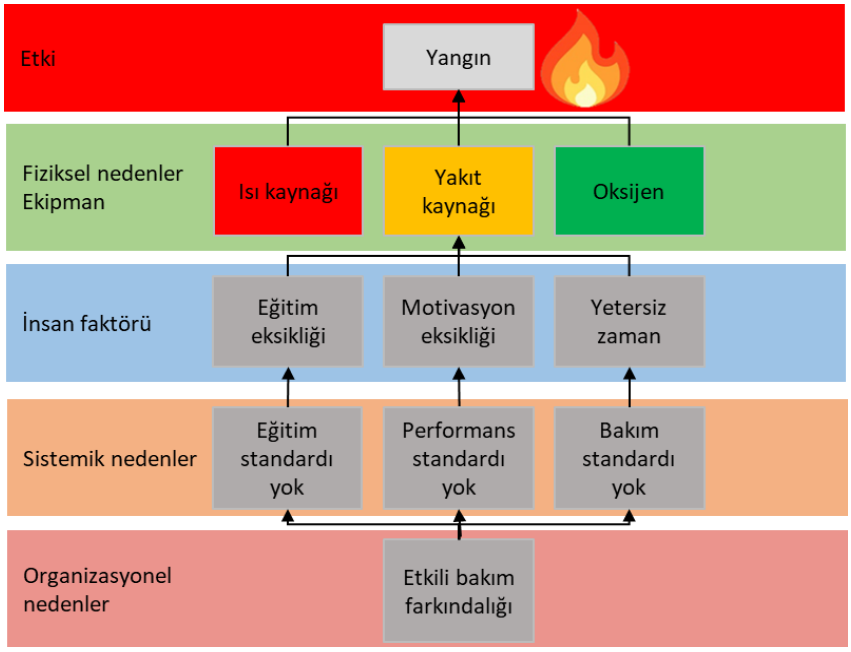
karşılayacak malzemeden yapılmıştır. Bu malzemeler yanma olayını ilerletmeden yüksek sıcaklıklara dayanabilmektedirler.

Şekil 36. Kamyon dizel motor turbo ve egzoz sargıları

Şekil 37. Mikser dizel motor egzoz ve katalitik konvertör sargıları

3.2.5. İnsan faktörü

Yangın olaylarına ait kök neden analizlerinde sadece fiziksel nedenler değil aynı zamanda insan faktörü, sistemsel nedenler ve organizasyonel nedenler de incelenmiştir (Şekil 38).



Şekil 38. Yangın olaylarında kullanılan kök neden analizinin genel yapısı

Yangınlara neden olan insan faktörünü azaltmak için hem elektrik hem de mekanik eğitim standartları oluşturulmuştur. Elektrikçilere; yangın riski, izolasyon koruması, kablo rotalama, montaj yöntemleri, doğru sorun giderme, mekaniklere de; hidrolik ve yakıt hortumu ile boru kontrolü, montajı, rotalaması, egzoz sargıları montajı, dizel motor turbo bakımı, motor emniyet sistemleri ve egzoz kontrolü için gerekli olan en iyi eğitimler verilmiştir. Tamamlanan eğitimler kayıt altına alınarak eğitimlerin uygulaması için bakım kalite kontrol ve elektrik süpervizörleri her bir çalışana yakından destek sağlamıştır. Eğitimler sonucunda çıkan bütün aksiyonlar kayıt altına alınarak bakım modüllerine işlenmiştir. Sonuç itibariyle bu eğitimler standart hâle getirilerek yapılan tüm işler her bir çalışanın performans standardına işlenmiştir.

3.2.6. Önleyici bakım stratejileri geliştirme

İş makinelerinde yangın riskini azaltmak için muazzam çabalar sarf edilerek kök neden analizleri sonucu alınan önlemlerle birçok iyileştirme yapılmıştır. Bu iyileştirmeler tek seferlik eylemler olmadığı gibi alınan önlemlerin sürekli gözden geçirilmesi ve makine parçalarının sürekli değerlendirilmesi gerekmektedir. Bu nedenle, iyileştirmelerin sürekliliğini sağlamak için iş makineleri bakım ekibi yapılan iyileştirmelerin kontrolünü önleyici bakım stratejisine entegre ederek yangın önleme ve söndürme önlemlerini dikkatle uygulamaktadır. Önleyici bakımda yangınla ilgili kısım iki bölümden oluşmaktadır. Bunlar; yangın önleme ve yangın söndürme bakımıdır.

Yangın önleme bakımı: Tüm önleyici bakım uygulamaları periyodik bakım belgelerinde güncellenmiş ve elektronik bakım yönetim sisteminde (CMMS-SAP PM) kayıt altına alınmıştır. Bakım uygulamaları, kurallara göre yerine getirilmekte olup, bakım yönetim sisteminde kayıt altına alınmaktadır. Yangın önleme bakımları ile ilgili örnekler aşağıda verilmiştir.

- Egzoz sargıları her periyodik bakımda kontrol edilmekte ve aşınmış, delinmiş, deforme olmuş sargılar hemen değiştirilmektedir.

- Hortumlar, borular, bağlantı parçaları kontrol edilmekte ve herhangi bir deformasyon tespit edilirse, bileşenler veya parçalar elektrikçiler veya mekanikçiler tarafından değiştirilmektedir. Buradaki amaç, parçaları arızalanmadan ve yangın olayına yol açmadan önce değiştirmektir.

- Bakım sırasında egzoz borusu sızıntıları, yanıcı sıvı sızıntıları, gürültülü turbo şarj cihazı, titreşimli kasnak ve kayış vb. gibi yangına neden olabilecek durumlar tespit edilmeye çalışılmaktadır. Örneğin Şekil 39'da beton püskürtme makinesinin egzozunda termal kamera ile tespit edilen sıcak nokta tespit edilmiş ve gerekli tamir işlemleri yapılmıştır.

Şekil 39. Termal kamera ile egzoz sargıları üzerinde sıcak nokta tespitinin yapılması

3.2.7. Yangın söndürme sistemleri ve bakımı

Her ne kadar iş makinelerinde yangını önlemek için birçok aksiyon yerine getirilse de bazı durumlarda yangınlar meydana gelebilmektedir. Bu durumda, yangının işçi sağlığına ve firmaya olan zararını en aza indirmek için yangının en kısa sürede söndürülmesi gerekmektedir. Bu durumda yangın söndürme sistemleri çok önemli bir duruma gelmektedir. Bütün iş makinelerinde birkaç çeşit yangın söndürme sistemi bulunmaktadır:

I. Taşınabilir yangın söndürücüler (Şekil 40.a),

II. Ansul A-101 manuel aktivite edilebilir kuru kimyasal yangın söndürme sistemi (Şekil 40.b): Foray kuru kimyasal madde kullanan bu sistem, A, B ve C sınıfı yangınlar için iş makinelerine monte edilmiştir. Sistem, büyük, inşaat ve madencilik iş makineleri ve özel araçlarda kullanılmak üzere tasarlanmıştır. Bu sistem, uygun nozullarla motor, şanzıman ve kabin gibi araçların yangın olma olasılığı yüksek olan yerlerde yangın söndürme işlevini yerine getirmektedir.

III. Ansul A-101 otomatik algılamalı ve manuel aktivite edilebilir kuru kimyasal yangın söndürme sistemi (Şekil 40.c): Bu sistem, motor ve diğer yangına

meyilli yerlerin etrafındaki bir yangın algılama teli ile yangını otomatik olarak algılar ve yangın söndürme kimyasalını yangın olan bölgenin üzerine püskürtür.

a

b

c

Şekil 40. Yangın söndürme sistemleri

Manuel veya otomatik yangın söndürme sistemi etkinleştirildiğinde motor otomatik olarak kapatılmaktadır. Bu güvenlik sistemi, önleyici bakım sırasında kontrol edilmektedir.

Tüm iş makinelerinde en azından taşınabilir yangın söndürücüler bulunmalıdır. Manuel ve otomatik sistemler, iş makinesi kritikliği ve yangın riskine göre kurulmaktadır. Ansul A-101 yangın söndürme sistemi yeni iş makineleri için isteğe bağlı olsa da yakın zamanda satın alınan tüm iş makinelerinde bu sistem bulunmaktadır.

Yangın söndürme sistemleri, yangın çıktığında uygun şekilde çalışabilmeleri için periyodik bakım gerektirmektedir. ÇBİ Bakım bölümü personelleri, mekanik ve elektrikçilere doğru yöntem konusunda talimat vermek için iş talimatları ve iş başında eğitim içeren bir yangın söndürme sistemi bakım programı geliştirmiştir. Tüm mekanik ve elektrikçiler bu talimatlar konusunda eğitilmiştir. Sistem, kademeli kontroller sırasında periyodik olarak denetlenmektedir.

Yangın söndürme sistemi bakımının periyodikliği, Orijinal Ekipman Üreticisinin (OEM) önerilerine, saha deneyimlerine, iş makinesinin çalışma saatine, kritikliğine ve kurulu yangın söndürme sistemine göre belirlenmektedir. Taşınabilir yangın söndürme cihazı bakımı çok basit olsa da manuel ve otomatik aktivite edilebilir sistemlerin bakımı zahmetli olup, teknik personel bilgisi gerektirmektedir. Yangın söndürme sistemi kontrolü hem mekanik hem de elektriksel yeterlilik gerektirmektedir. Yangın söndürme sistemi her bakımda kontrol edilmektedir. (Şekil 41).

	11) Emniyet Kontrolü	Alt toplam süresi	0.41	0.41	0.41	0.41				
		PM	3 Ay	6 Ay	9 Ay	12 Ay				
1	Seyyar yangın tüpü emniyet pimi ve göstergesini kontrol et, bakımın yapıldığına dair etiket takınız.						Eğer gösterge kırmızı gösteriyorsa birimi değiştirin.	İyi	Uygun	Yetersiz
2	Otomatik yangın söndürme el basma butonunu sağlamlık yönünden inceleyin. Gaz kartujunu sökün, iğnesini hareket ettirin.						Serbest bırakma pininin yerinden olduğundan emin olun.	İyi	Uygun	Yetersiz
3	Otomatik yangın söndürme tetik mekanizmasından büyük gaz tüplerine giden hatları hasar veya eğrilme yönünden inceleyin.						Her hangi bir kaygılandırıcı alan varsa rapor edin.	Yapıldı		
4	Büyük gaz tüplerini sökün, küçük gaz tüplerinden gelen hortuma hava vererek patlatma iğnelerinin ileri hareketini gözlemleyin.						Durumu raporlayın	Yapıldı		
5	Kimyasal toz tüplerinden nozullara giden besleme hattını hasar ve eğrilme yönünden inceleyin.						Her hangi bir kaygılandırıcı alan varsa rapor edin.	İyi	Uygun	Yetersiz
6	Tüm püskürtme nozullarını tıkanıklık yönünden inceleyin. Basınçlı hava vererek tüm memelerin çalışma durumunu kontrol edin.						Durumu raporlayın	İyi	Uygun	Yetersiz
7	Tüm nozulların plastik kapaklarını kontrol et. (Yan çıkışlı olanlara gres sür üsten çıkışlı olanlara kendi çapına uygun plastik kapak tak)						Plastik koruma kapakların çapına dikkat et çok sıkı olmamalıdır	İyi	Uygun	Yetersiz
8	Yangın söndürme sistemindeki kimyasal tozu kontrol edin, topaklanma var ise kesinlikle yenisi ile değiştiriniz.						Yeni yapılan kimyasal dolum seviyesi 19 cm aşağıda olacak	Yapıldı		
9	Yangın kimyasal tüp çıkışındaki patlatma zarını çalışma yönünden kontrol ediniz.						Herhangi bir hasar gözlemnelirse yenisi ile değitiriniz.	İyi	Uygun	Yetersiz
10	Otomatik yangın sisteminin bakımının yapıldığına dair etiket takınız.						Durumu raporlayın	Yapıldı		
11	Geri vites alarmının çalışmasını kontrol edin						Durumu raporlayın	İyi	Uygun	Yetersiz
12	Ekipman uyarı kornasının çalışmasını kontrol edin						Durumu raporlayın	İyi	Uygun	Yetersiz
13	Aracın göbek kilit mekanizmasının çalışma durumunu kontrol edin.						Durumu raporlayın	İyi	Uygun	Yetersiz
14	Ekipman yürüme yerlerini, tutamaklarını, merdivenlerini hasar ve takılma riskleri yönünden inceleyin.						Parçaların durumunu raporlayın	İyi	Uygun	Yetersiz
15	Aracın kilitleme noktalarını gösteren etiketin yerinde olup olmadığını kontrol ediniz. Etiket düşmüş ise planlamaya bilgi veriniz.						Etiket durumunu raporlayın	Sağlam		Düşmüş
16	Göz Sölüsyonunu kontrol edin. Kullanılmış, açılmış veya son kullanma tarihi geçmişmi?						Gerekli ise yenisini temin edip koyun.	Yapıldı		

Şekil 41. Bakım kontrol listesi

Yangın söndürme sistemi yalnızca periyodik bakım sırasında değil, aynı zamanda her vardiyanın başında operatörler tarafından da kontrol edilmektedir (Şekil 42). Tüm operatörler sistemin nasıl çalıştığını, yangın söndürme sisteminin bütünlüğünün nasıl kontrol edileceğini ve iş makinesinde yangın olması durumunda nasıl aksiyon alacağı konusunda eğitilmektedir.

ÇALIŞMA ÖNCESİ KONTROL FORMU (SOLOMATİK)

Operator Adı	Ali.		Motor saati (iş Sonu)	Bom Saati İş başı / İş sonu	Tarih	Vardiya	
Ekipman No	22-412	6180		6422...	27.12.2024	24.08	
Park Freni	Sağlam	Arızalı	Otomatik Yangın Söndürme Sistemi		Sağlam	Arızalı	
Servis Freni	Sağlam	Arızalı	Emniyet Kemerleri		Sağlam	Arızalı	
Seyyar Yangın Söndürme Cihazı	Sağlam	Hasarlı	Acil stop		Çalışıyor	Arızalı	

Şekil 42. Vardiya başı kontrol listesi

3.2.8. Yangın söndürme sistemi güncellemeleri ve montajı

Yapılan risk analizlerine göre, üretildiği dönemdeki yangın standartlarını sağladığı hâlde günümüzdeki standartların altında yangın söndürme sistemine sahip iş makineleri yeni yangın söndürme sistemleri ile donatılmıştır. Orijinal iş makinesi üreticileri tarafından yangın söndürme sistemi montajı yapılmayan iş makinelerine de yangın söndürme sistemi montajı yapılmıştır. Bütün bu modifikasyonlar yangın söndürme sistem tasarımı ve bakımı konusunda sertifikasyonu olan ve yeterliliği bulunan firma tarafından daha önce bahsedilen Değişim Yönetim Prosedürüne uygun bir şekilde gerçekleştirilmiştir.

Orijinal iş makinesi üreticisi tarafından yangın söndürme sistemi montajı yapılmayan yükleyici kazıyıcılar, 2015 yılında standart bir yangın söndürme sistemi ile donatılmıştır (Şekil 43). Daha sonraki yıllarda yüklenici firmalardan kiralanan kazıyıcı yükleyicilerde de aynı standartta yangın söndürme sistemlerinin montajı yapılmıştır.

Şekil 43. Kazıcı yükleyicilere yapılan yangın söndürme sistemi montajı

1995 yılında imal edilen üretim delgilerinde kullanılan delici iş makinelerinde, sadece taşınabilir yangın söndürücü bulunmaktaydı. Yapılan risk analizlerine göre bu iş makinesinde yangın riski yüksek belirlendiği için yangın söndürme sistemi montajı yapılmıştır (Şekil 44).

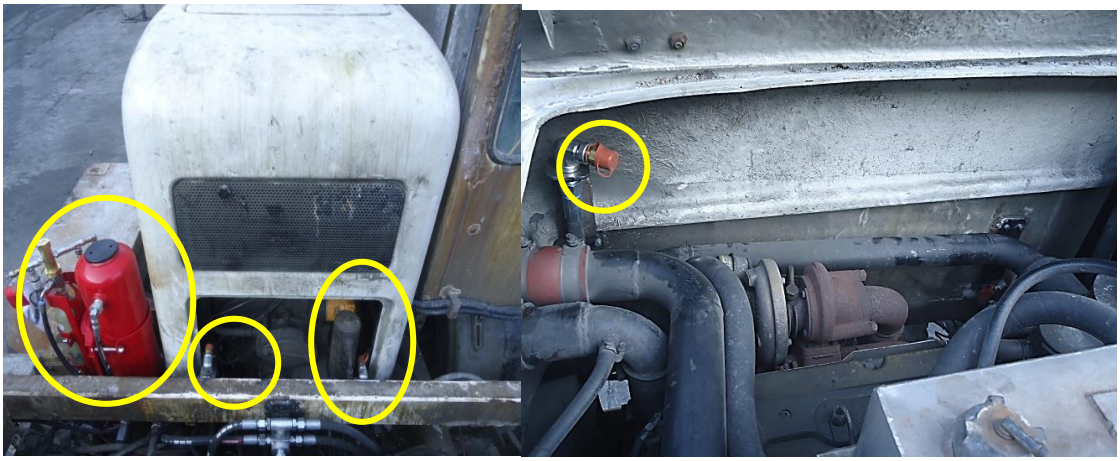
Şekil 44. Delici ekipmanlara yapılan yangın söndürme sistemi montajı

Maden operasyonlarında kullanılmak üzere patlayıcı taşıyan ve N1 araç sınıfında olan bir hafif aracın motor bölgesine, yapılan risk analizlerine göre

aracın hem motor bölgesinde yüksek yangın riski bulunduğu hem de aracın kritikliği yüksek olduğu için yangın söndürme sistemi montajı yapılmıştır (Şekil 45).

Şekil 45. Hafif araç yangın söndürme sistemi montajı

Yapılan risk analizlerine göre standart altı yangın söndürme sistemine sahip fan platformun yangın söndürme sistemi yeraltı standartlarına tam uyumlu Ansul A-101 ile güncellenmiştir (Şekil 46).



Şekil 46. Fan platformuna yangın söndürme sistemi montajı

4. SONUÇLAR

Yangınla mücadelede birinci öncelik yangını önlemek olmalıdır. Bundan dolayı iş makinelerinde bütün ısı ve yakıt kaynakları tespit edilerek en yüksek

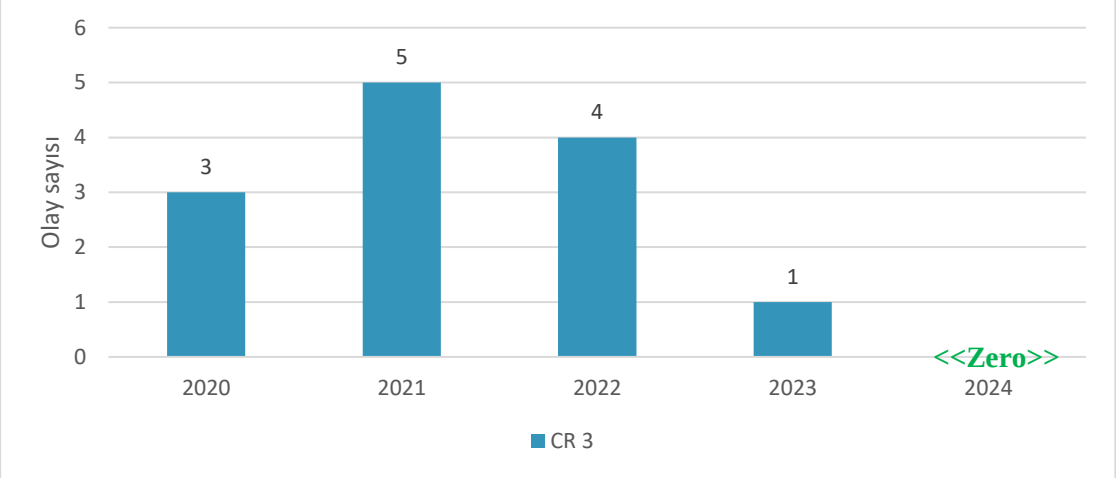
düzeyde koruma sağlanmalıdır. Bu korumanın sağlanması için tek seferlik aksiyonlar alınır ve bu aksiyonların sürdürülebilirliğini sağlamak için planlı bakım stratejileri geliştirilmelidir.

Yangınla mücadelede ikinci adım ise çıkan yangının çok hızlı bir şekilde söndürülmesidir. Bu durumda yangın söndürme sisteminin doğru bir şekilde tasarlanması, montajının ve bakımının yapılması çok önemlidir. Bundan dolayı yangın söndürme sistemleri için sertifikasyona sahip firmalarla çalışılması gerekmektedir.

İş makinelerinde yangın olaylarını önlemek için birçok girişimde bulunulmasına rağmen, yangınla ilgili hala bir risk bulunmaktadır. Buradaki en büyük sorunlardan biri, mevcut iyileştirmelerin sürdürülebilirliğidir. İş makineleri bakım ekibi, yangın riskini azaltmak ve yangın önleme ekibi kurmak için bir program geliştirmiştir. Bu program şu adımlardan oluşmaktadır:

- Yangın önleme ve söndürme sistemi bakımı için eğitim gereksinimlerinin belirlenmesi,
- Mekanikçilere ve elektrikçilere uygun eğitimin sağlanması,
- Yangın önleme ve söndürme için tüm yerleşik iyileştirmelerin periyodik olarak kontrol edilmesi,
- Kritik sistem bakımı ve onarımı sırasında doğrudan ve yakın denetim yapılması,
- Operatörlerin yangınla ilgili yaklaşan tehlikeyi belirlemek için günlük kontroller yapmaları konusunda eğitilmesi,
- Tüm sargıların, manşonların ve diğer parçaların periyodik olarak incelenmesi ve aşınmış, patlamış veya delinmiş olanların yenileriyle değiştirilmesi,
- Aylık toplantıların düzenlenmesi ve bu aylık toplantılar sırasında olayların ayrıntılı olarak incelenmesi.

2015 yılından günümüze kadar yapılan bütün çalışmalar sonucunda 2024 yılında herhangi bir açık alevli yangın olayı yaşanmamıştır (Şekil 47). Bu durum, yangın önleme çalışmalarının başarısını göstermektedir.



Şekil 47. Açık alevli yangın olayları

Yangın, yeraltı madenlerindeki en tehlikeli iki olaydan bir tanesidir. Yangın, yeraltında birçok kişinin hayatına mâl olabilmektedir. Dünyanın dört bir yanındaki diğer madenlerde görüldüğü gibi, madencilikte kullanılan iş makineleri en yüksek yangın riskine sahiptir. Bu nedenle hem maden hem de bakım bölümü felaket niteliğindeki olayları önlemek için gerekli olan tüm önlemleri almalıdır.

KAYNAKLAR

Australian Standard, AS5062:2016 Fire Protection for Mobile and Transportable Equipment.

Deloitte, (2023), Managing Mobile Equipment Fire Risks.

Maria I. De Rosa, (2004). Analysis of Mine Fires for All U.S. Metal/Nonmetal Mining Categories, 1990–2001, National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH).

NSW Resources Regulator, SW Depa220rtment of Planning and Environment, Preventing fires on mobile plant – Discussion paper August 2018.

NSW Resources Regulator, (2019), Preventing Fires on Mobile Plant Position Paper.

NSW Trade & Investment – Mine Safety, (2013), NSW Underground Metalliferous Mines Fires on Mechanical Plant Incident Analysis 2008-2012.

Rickard Hansen, (2013). Investigation on Fire Causes and Fire Behavior, Vehicle fires in underground mines in Sweden 1988–2010.

The Fire Safety Committee of the Swedish Mining Industry's Health and Safety Committee, (2009). Fire Safety in Mines and Underground Constructions.

ÇÖZELTİ MADENCİLİĞİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ

HEALTH AND SAFETY IN SOLUTION MINING

Celil Çevik, Arda Öztürk
Kazan Soda Elektrik Üretim A.Ş., Ankara

ÖZ: Kazan Soda Elektrik Üretim A.Ş., trona mineralinin işlenmesiyle her yıl 2,9 milyon ton soda külü üretimi gerçekleştiren bir entegre üretim tesisidir. Proses tesisinde işlenip soda külü olarak pazara sunulan trona cevheri, yerin ortalama 650 metre altında ve 8 derecelik bir eğimle yaklaşık 14 km^2'lik bir alanda yataklanmış durumdadır. Çoklu kuyulu çözelti madenciliği metodu uygulanarak yeryüzüne çıkarılmaktadır. Yüzeyden cevher zonuna ulaşan üretim sondajları yönlendirilebilir sondaj tekniği kullanılarak açılan yatay kuyularla birbirleri ile irtibatlandırılır ve yeraltı üretim alanları oluşturulur. 120 adet yeraltı üretim ünitesi ile çalışmakta olan tesiste, gerçekleştirilen madencilik faaliyetleri temel olarak üretim sondajları için servis yolları ve sondaj lokasyonlarının hazırlanması ile ilgili sondajların tamamlanması, akabinde de kuyu başı hazırlığı ile pompa istasyonu ve tank sahasına uzanan boru hatlarının tasarımı ve devamında da inşa aşamalarını kapsamaktadır. Yapılan tüm çalışmalar için mevcut riskler değerlendirilmiş olup hem Fine Kinney metodu hem de Job Safety Analysis (JSA) metodu kullanılarak güncel olarak takip edilmekte, gerekli hallerde düzeltmeler ve eklemeler de yapılarak kontrol edilmektedir. Bu bildiride trona cevheri, çözelti madenciliği ve sondaj çalışmaları esnasında gerçekleştirilen iş bazlı risk analizi (JSA) hakkında bilgiler verilecektir.

Anahtar Kelimeler: Çözelti madenciliği, sondaj, soda külü, trona, JSA.

ABSTRACT: *Kazan Soda is an integrated production facility that produces 2.9 million tons of soda ash each year by processing trona mineral. The trona ore, which is processed in the facility and supply to the market as soda ash, is deposited in an area of approximately 14 km^2 with an average of 650 m below the surface and an 8-degree slope. Ore is brought to the surface by applying the multi-well solution mining method. Production drillings reaching the ore zone from the surface are connected to each other with horizontal wells opened using the directional drilling technique and underground production areas are created. Operating with 120 underground production units, the mining activities carried out in the facility mainly include the preparation of service roads and drilling locations for production drillings, the completion of the drillings, preparation of wellheads, the design of the pipelines extending to the pump station and tank farm and the construction stages afterwards. Existing risks have been assessed for all work carried out and are monitored using both the Fine Kinney method and the Job Safety Analysis (JSA) method and are monitored by making revisions and additions when necessary. In this study, information is presented on trona ore, solution mining, and the job-based risk analysis (JSA) carried out during drilling activities.*

Keywords: *Solution mining, drilling, soda ash, trona, JSA.*

1. GİRİŞ

Kazan Soda Elektrik Üretim A.Ş., çok kuyulu çözelti madenciliği metodu kullanılarak yılda 3 milyon ton doğal soda külü üretiminin yapıldığı bir işletmedir. WE Soda'nın Türkiye'de faaliyet gösteren iki şirketinden biri olan bu işletme, tesislerin enerji ve kuru buhar ihtiyacını karşılamakta olan kojenerasyon birimi, maden sahasından elde edilen cevher çözeltisinin zenginleştirilip ürün haline getirildiği proses tesisi ve yardımcı birimlerden oluşan bir entegre üretim tesisidir.

Soda külü, cam üretiminden temizlik ürünlerine, ilaçtan gıdaya kadar binlerce ürünün üretiminde kullanılan güvenli, basit bir bileşiktir. Sodyum karbonat, sodyum bikarbonat ve sudan oluşan bu bileşik, yeraltında trona minerali olarak yataklanmış ve yerinde liçleme ile çözelti haline getirilip yeryüzüne çıkartılabilmektedir. Sentetik soda külü üretimine kıyasla çözelti madenciliği metodu kullanılarak gerçekleştirilen doğal soda külü üretimi, 6'da 1 oranda daha düşük su tüketimi, 3 kat daha az buhar ihtiyacı, 40 kat daha az katı atık oluşumu ve yaklaşık 3 kat daha az CO_2 emisyonu ile daha çevreci bir işleyişi mümkün kılmaktadır.

Yaklaşık 15 km^2'lik bir alanda yataklanmış trona minerali, tesis ihtiyaçları, tasman hareketleri, tektonizma (fay hatları ve süreksizlikler), yer izinleri, trona yatakları uzanım doğrultuları vb. kriterler gözetilerek hazırlanan üretim planlarıyla 120 milyon tonluk bir işletilebilir rezerv oluşturmaktadır. 2017 yılında başlayıp günümüzde devam etmekte olan üretim faaliyetleriyle toplamda 17 milyon 500 bin ton doğal soda külü üretimi gerçekleştirilmiştir.

12 ayrı yataklanma ve ara kesmelerinden oluşan, %30,30 tenöre sahip trona minerali, ortalama 650 metre derinlikte bulunmakta ve KB-GD yönünde ortalama 7 derece dalıma sahiptir. 13 ile 103. metreler arası değişen damar kalınlığının ortalaması 58 metredir. Yüzeyden yapılan sondajlarla cevher zonuna ulaşan kuyular, yönlendirilebilir sondaj tekniği ile inşa edilen yatay kuyular ile cevher

içerisinde birbirleriyle irtibatlandırılıp, yerinde liçleme yapılabilmesi için ortalama 150'şer metrelik kavernalar oluşturulmaktadır. Ünite olarak isimlendirilen ve birbirleri arasında topuklar bırakılarak hazırlanan bu yeraltı üretim alanları, hesaplanan işletme ömürleri süresince liçlenip akabinde yeni hazırlanan üretim alanlarına (yeni ünitelere) geçilmek üzere uygun prosedür ve kontrollerle terk edilmektedir. Aynı anda faaliyette olan ortalama 120 adet ünite ile tesisin tam kapasite üretimi desteklenmektedir.

1.1. Proses Tesisleri ve Üretim

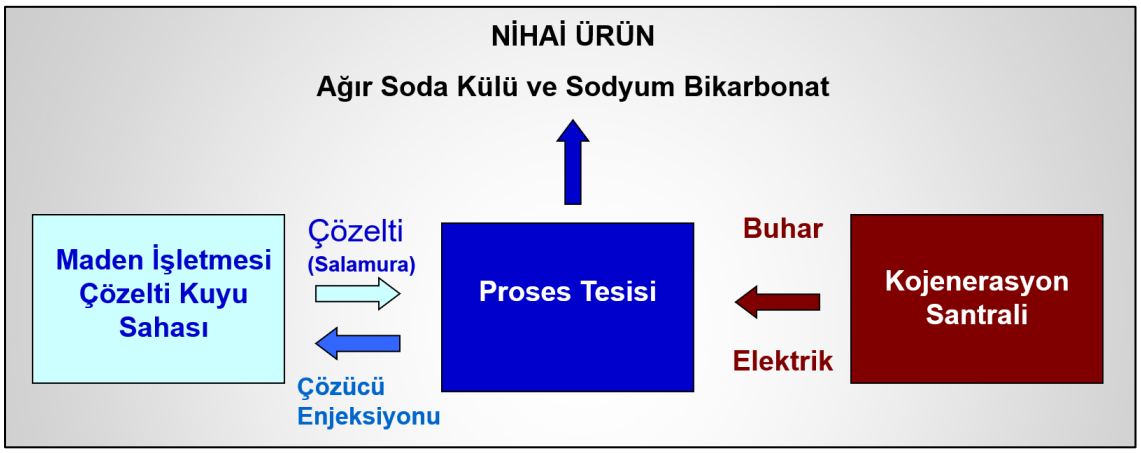
Ankara'nın Sincan ilçesinde faaliyet gösteren Kazan Soda Elektrik Üretim A.Ş. tesisleri, bünyesinde bulunan kojen, proses ve maden ana birimleriyle aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 1).

Şekil 1. Kazan Soda Elektrik Üretim A.Ş. entegre üretim tesisi

Tesisin bulduru haritası ise aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 2).

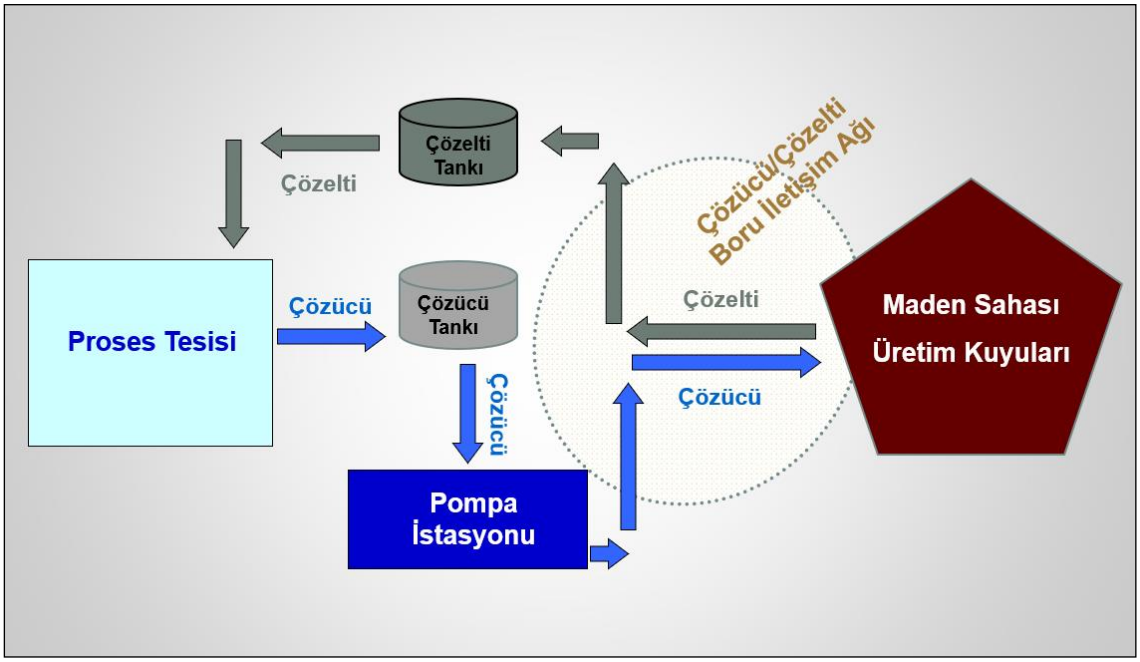
Şekil 2. Bulduru haritası

Kazan Soda tesislerinde üretimin kademelerini basit şekilde açıklamak gerekirse; proses tesisinin ihtiyaç duyacağı elektrik ve buhar, kojenerasyon santralinden gelirken, çözelti ise maden işletmesi ve çözelti kuyu sahasından temin edilmektedir. Aynı esnada maden sahasında enjeksiyon olarak kullanılacak yaklaşık 70 derece santigrat sıcaklığa sahip çözücü, proses tesislerinde kullanılan buharın yoğuşmasıyla elde edilmektedir. Kazan Soda tesislerinin genel akım şeması aşağıdaki şekilde paylaşılmıştır (Şekil 3).



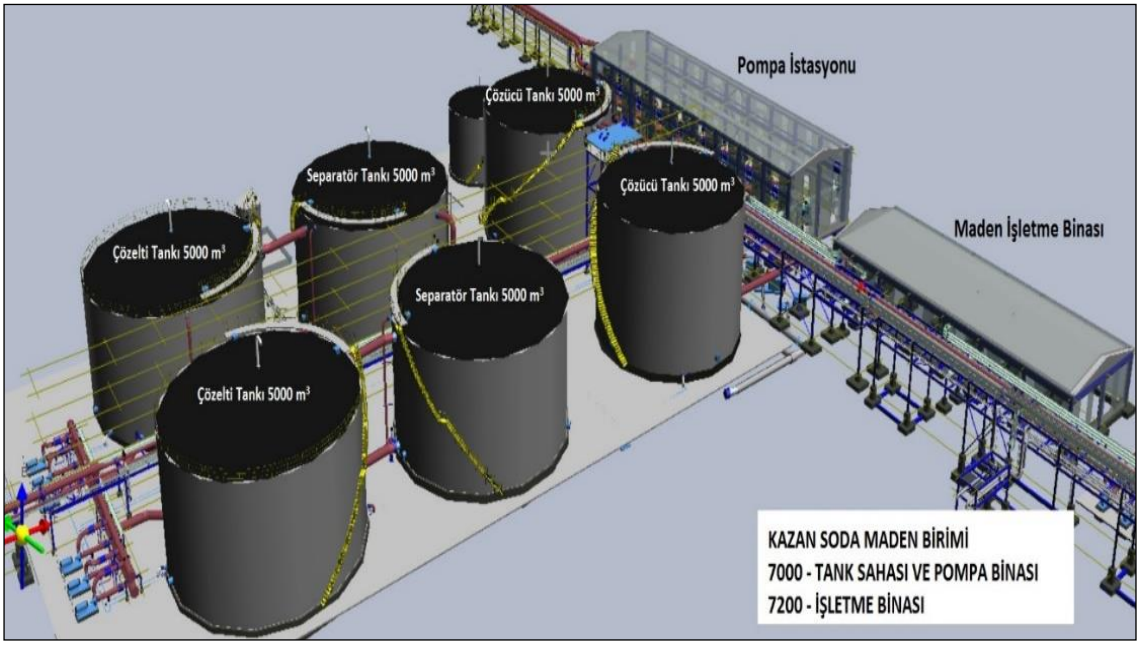
Şekil 3. Kazan Soda tesis akım şeması

Maden sahasında gerçekleştirilmekte olan çözelti madenciliği faaliyetlerine ilişkin genel akım şeması aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 4).



Şekil 4. Kazan Soda Entegre Üretim Tesisi temel çalışma düzeni

Kojenerasyon tesislerinde üretilip proses tesislerinde kullanılan kuru buharın yoğuşmasıyla elde edilen kondens maden işletmesi çözücü tankında depolanır. Çözücü tankından emiş yapan ana enjeksiyon pompalarının yardımıyla farklı çaplardaki boru hatları üzerinden maden sahasına ulaştırılır. Maden sahasındaki üretim kuyuları vasıtasıyla sıcak enjeksiyon sıvısı cevher seviyesine indirilir ve yeraltı üretim alanlarında yerinde liçleme gerçekleştirilmiş olur. Aynı şekilde sirkülasyonunu tamamlayan çözelti üretim kuyuları vasıtasıyla tekrar yeryüzüne çıkar ve boru hatları üzerinde maden işletmesindeki çözelti tankında toplanır (Şekil 5, 6).

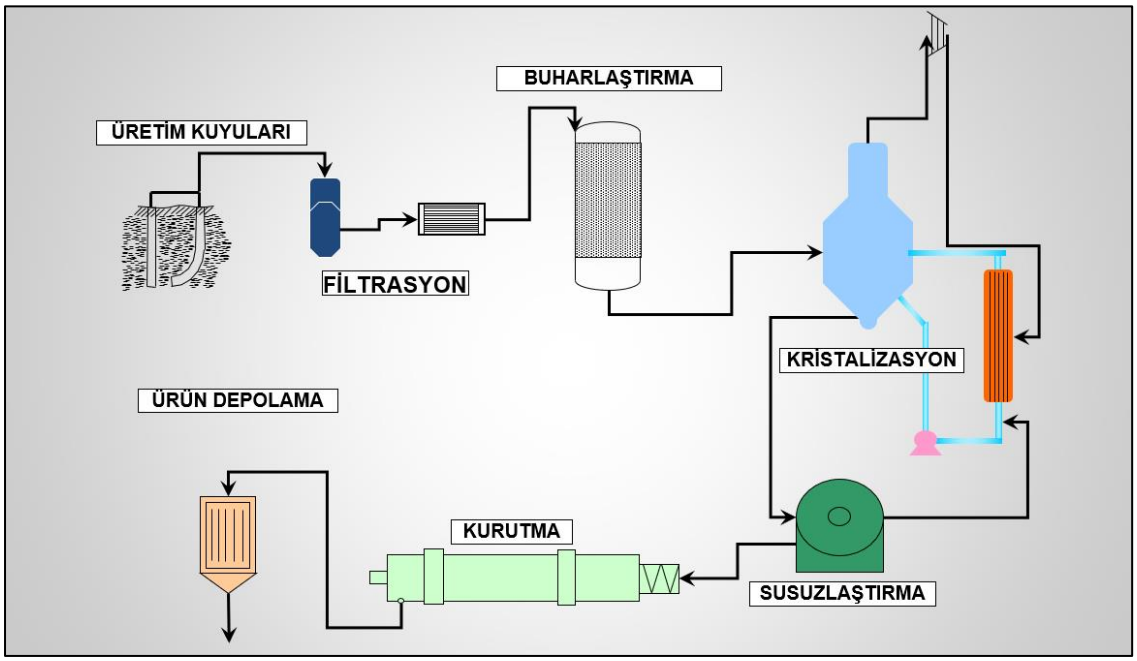


Şekil 5. Tank sahası ve pompa istasyonu

Şekil 6. Ana enjeksiyon pompaları

Çözelti tankında %15 konsantrasyonda elde edilmiş olan trona çözeltisi proses tesislerine beslenir ve cevher zenginleştirme faaliyetlerine başlanmış olur. Proses

tesislerinde gerçekleştirilmekte olan üretim aşamalarına dair hazırlanmış akım şeması aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 7).



Şekil 7. Proses tesisi akım şeması

1.2. Genel Jeoloji ve Maden Sahası

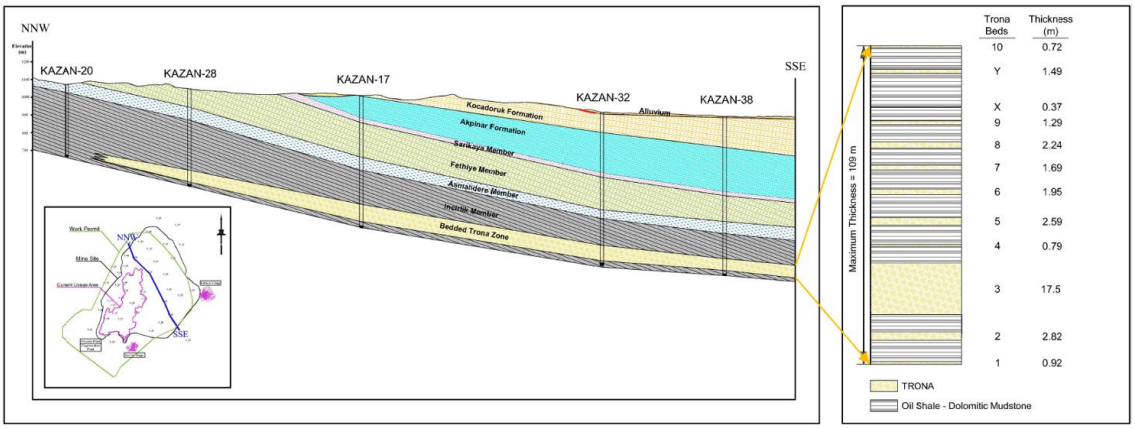
Kazan Trona maden sahası, kuzeydoğu-güneybatı yönelimli Kazan Havzası'nın batı kenarında yer almakta olup, bölgesel olarak İzmir-Ankara-Erzincan kenet kuşağının (İAES) kuzeyinde ve Kuzey Anadolu Fay Zonunun (KAFZ) güneyinde bulunmaktadır. Daha geniş Kazan Havzası, doğuda Orhaniye yükselimi, batıda Kınık yükselimi, kuzeyde Kızılcahamam volkanik arazisi ve güneyde Zir volkanik arazisi ile sınırlıdır. Havzadaki stratigrafik birimler, Paleozoyik metamorfikleri üzerleyen Eosen ve Miyosen birimleridir. Hedef formasyon, hedef İncirlik Üyesinin bitümlü şist ve Trona cevherini içeren Eosen yaşlı Mülk Formasyonudur.

İncirlik Üyesi: Bu üye, tabanında kahverengimsi sarı orta ile kalın tabakalı kumtaşı-çakıl taşı ile başlayıp, koyu kahverengi ince tabakalı marn, sarımsı kahverengi ince tabakalı killi kireçtaşı-marn ile siyah laminasyonlu, ince tabakalı

karbonca zengin dolomitik çamurtaşı yatakları ve petrol şistlerinin ardalanmasından oluşur. Yoğun şekilde kırıklı ve kıvrımlı olan bu birim, gözeneklerin bağlantısız olduğu bir kilitli porozite yapısına sahiptir. Gözenekler, çözünmüş kristallerin kalıntılarıdır. Bu birim, trona minerali için ana kayayı oluşturur.

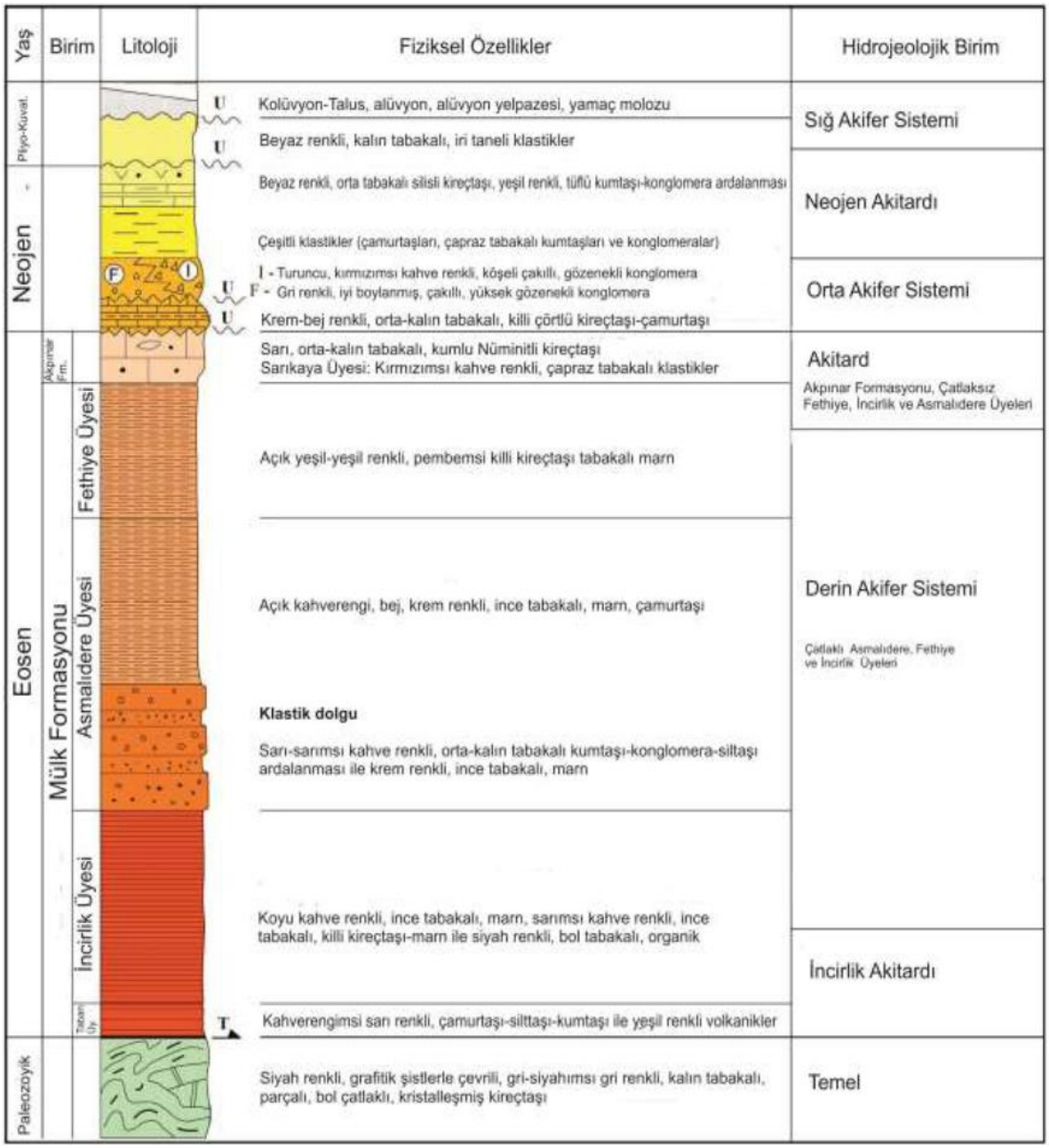
Trona yatakları bitümlü şist ile ardalanmıştır. Genel olarak, tabakalı trona zonunun üst seviyelerinde bulunan trona, çoğunlukla açık ile orta kahverengi renkli, ince kristalli, yoğun, nispeten kalın tabakalı ve çözünmeyen maddelerden arınmış haldedir. Zonun orta seviyelerinde orta ile koyu kahverengi, orta kristalli, nispeten kirli türler hakimdir. Alt seviyelerde ise iri kristalli, koyu kahverengi renginde trona yataklanmaları yaygındır. Shortite ($Na_2 Ca_2 (CO_2)_3$) bol bulunan bir ikincil mineraldir.

Maden sahasının KKB-GGD kesiti ve ara kesmeleri ile birlikte trona yataklanmaları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 8).



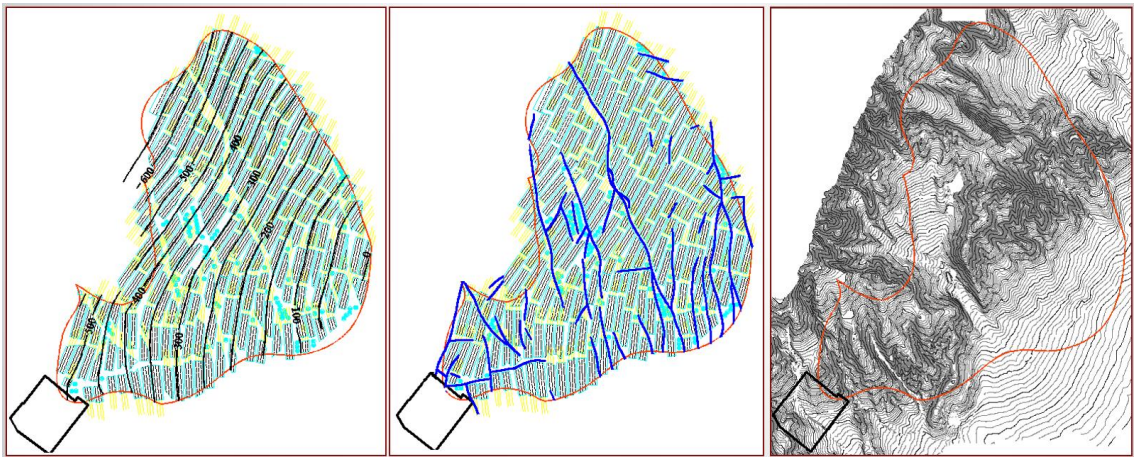
Şekil 8. Maden sahası jeolojik istif ve cevher yatakları

Çalışılmakta olan maden sahasındaki stratigrafik kesit ise aşağıdaki şekilde paylaşılmıştır (Şekil 9).



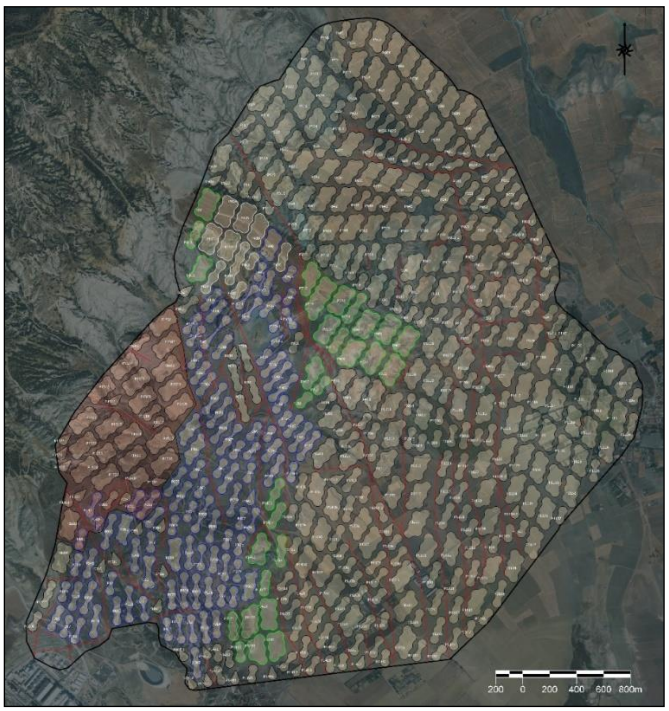
Şekil 9. Stratigrafik kesit

Maden sahasında yeraltı üretim üniteleri, trona yatakları uzanım doğrultuları, cevher zonunda etkin olup farklı miktarlarda atımlara sebep olan ve ilgili alanda yapılmış 3D sismik çalışmalarıyla tespit edilmiş fay hatları, yüzey topoğrafyası gibi unsurlar dikkate alınarak planlanmakta, sonrasında ise bu üniteleri inşa etmek için sondaj çalışmalarına başlanılmaktadır. Yeraltı üretim ünitesi yerleşim planı kısıtları aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 10).

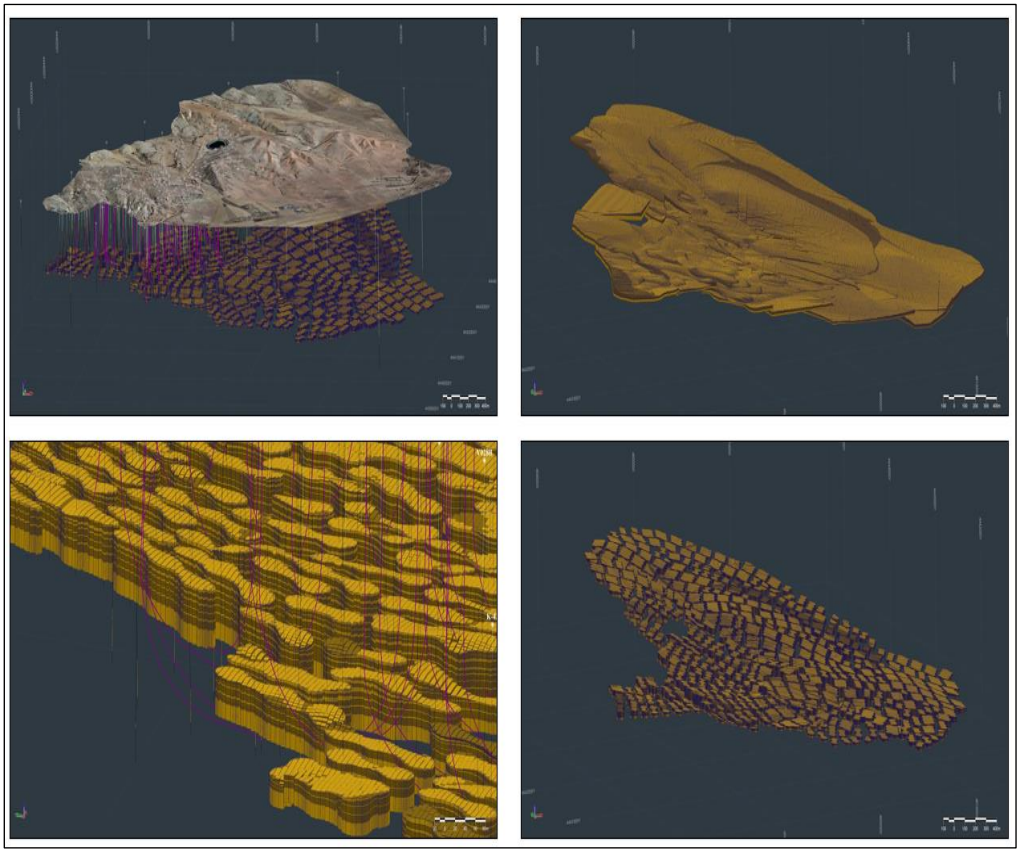


Şekil 10. Yeraltı üretim alanları hazırlık kriterleri

Tesisin üretim kapasitesini dikkate alarak hazırlanan ünite yerleşim planına ait kaynak ve rezerv miktarlarıyla ünitelerin münferit kullanım ömürleri tespit edilir ve tam kapasite üretimi sürdürecek yeter miktarda ünitenin eş zamanlı çalışması ve kullanım ömürleri tamamlanmış ünitelerin ilgili prosedürle terki için orta ve uzun vade üretim planları hazırlanır. (Şekil 11, 12).

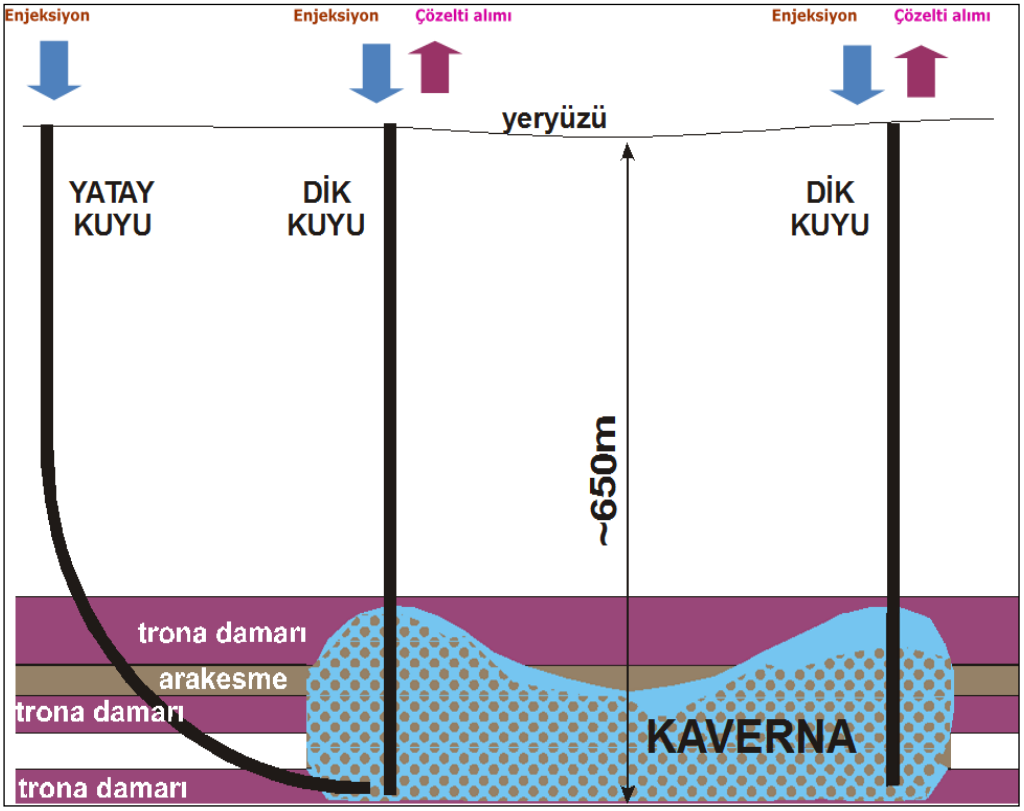


Şekil 11. Üretim planları



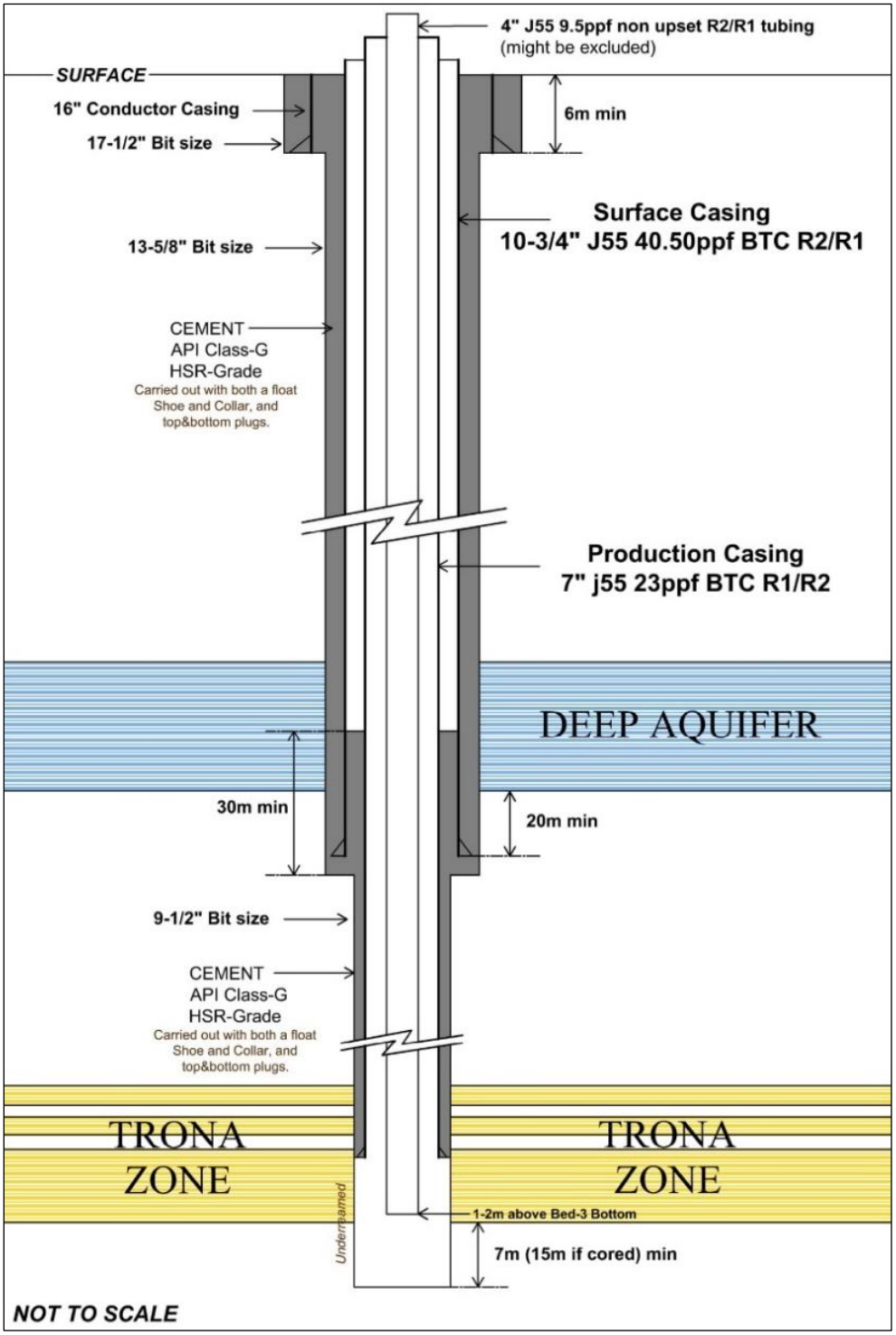
Şekil 12. Cevher sahası üretim planları

Hazırlanan üretim planlarına göre maden sahasında sondaj ve borulama faaliyetlerine geçilir. Normal koşullarda aralarında 75'er metre bulunan iki üretim kuyusu bir yatay kuyu ile cevher zonunda birleştirilir. Yatay delgi için yönlendirilebilir sondaj tekniği (geosteering) kullanılır. Aşağıdaki şekilde klasik bir ünitenin kesit görünümü sunulmuştur (Şekil 13).



Şekil 13. Klasik bir yeraltı üretim ünitesi

Üretim kuyularının inşa parametresi iki muhafaza ve iki çimentolama (double casing & double cement) içermektedir. Bölgede mevcut bulunan ve cevher zonu üzerinde yer alan sığ, orta ve derin akiferlerin cevher zonunda gerçekleştirilen liçleme faaliyetlerinden izole edilmesi için kullanılan bu muhafaza boruları ve çimentolama işlemleri kuyu içi jeofizik ölçümlerle yakından takip edilmektedir. Aşağıda üretim kuyusu inşa tasarımının bir kesiti paylaşılmıştır (Şekil 14).

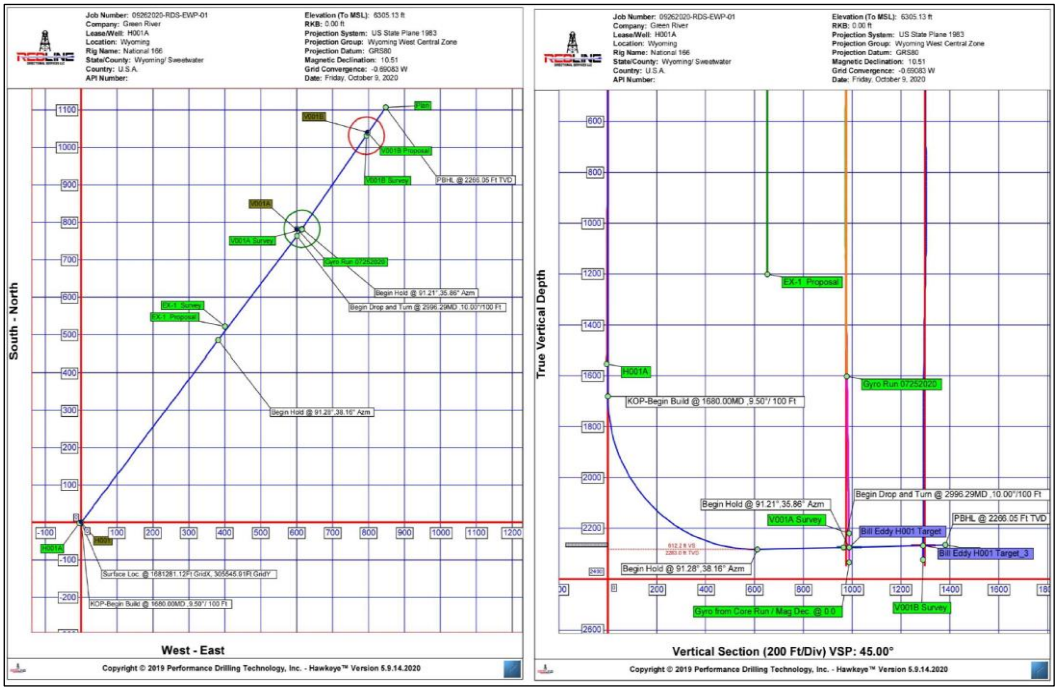


Şekil 14. Sondaj kuyusu kesit

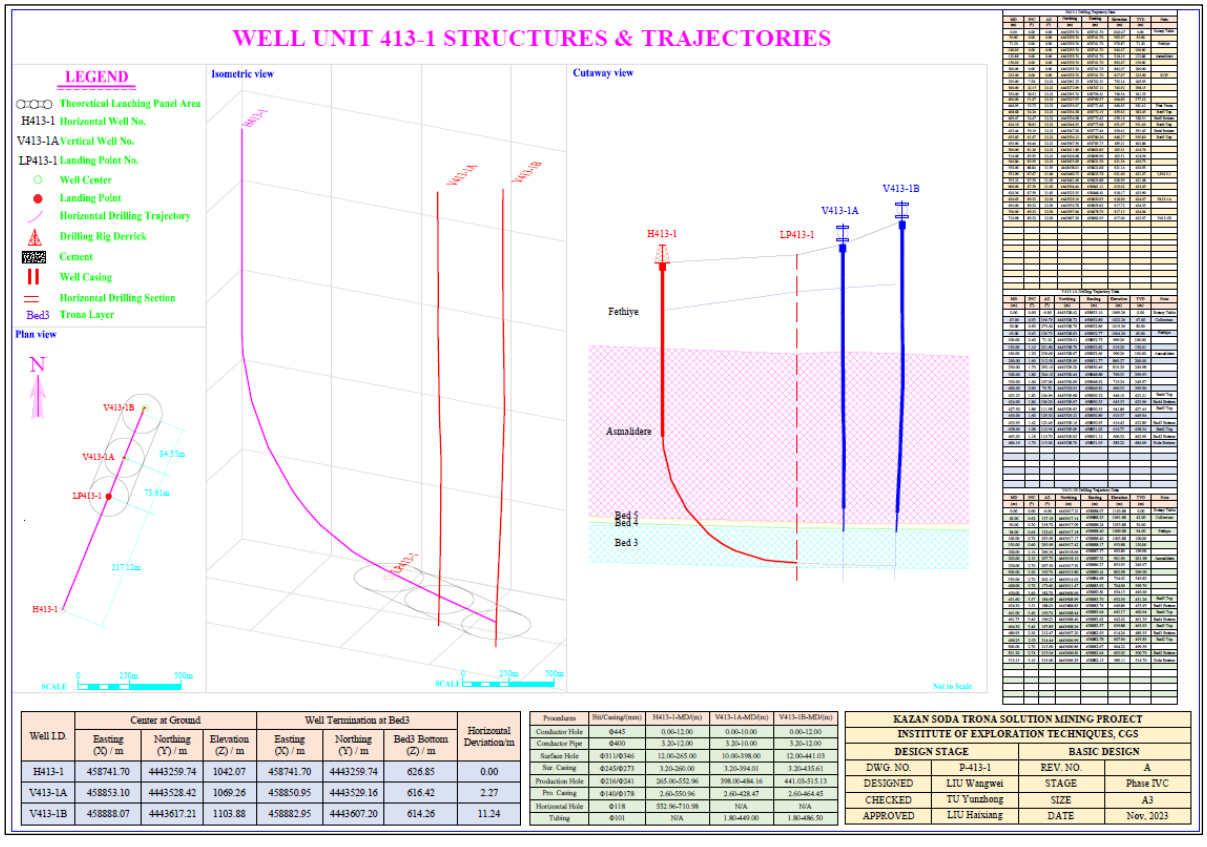
Üretim kuyularında yapılan sondaj çalışmalarında ilgili kimyasal analizlerin de yapılabilmesi için cevher zonunda karotlu delgi yapılmaktadır. Yatak içi karot numunelerinden bir örnek aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 15).

Şekil 15. Trona yatakları karot numuneleri

Bir üniteye ait dik kuyuların tamamlanmasına müteakip ilgili üniteyi oluşturacak, iki dik üretim kuyusunu cevher içinde birbirine bağlayacak yatay kuyunun açılması için yapılacak yönlü sondaj çalışmalarına başlanmaktadır. İlgili sondaj için hazırlanan delgi tasarımları aşağıdaki şekillerde gösterilmektedir (Şekil 16, 17).



Şekil 16. Yatay kuyu delgi dizaynı (plan ve kesit)



Well I.D.	Center at Ground			Well Termination at Bed3			Horizontal Deviation/m
	Easting (X) / m	Northing (Y) / m	Elevation (Z) / m	Easting (X) / m	Northing (Y) / m	Bed3 Bottom (Z) / m	
H413-1	458741.70	4443259.74	1042.07	458741.70	4443259.74	626.85	0.00
V413-1A	458853.10	4443528.42	1069.26	458850.95	4443529.16	616.42	2.27
V413-1B	458888.07	4443617.21	1103.88	458882.95	4443607.20	614.26	11.24

Procedures	Bit/Casing/(mm)	H413-1-MD/(m)	V413-1A-MD/(m)	V413-1B-MD/(m)
Conductor Hole	Φ445	0.00-12.00	0.00-10.00	0.00-12.00
Conductor Pipe	Φ400	3.20-12.00	3.20-10.00	3.20-12.00
Surface Hole	Φ311/Φ346	12.00-265.00	10.00-398.00	12.00-441.03
Sur. Casing	Φ245/Φ273	3.20-260.00	3.20-394.01	3.20-435.61
Production Hole	Φ216/Φ241	265.00-552.96	398.00-484.16	441.03-515.13
Pro. Casing	Φ140/Φ178	2.60-550.96	2.60-428.47	2.60-464.45
Horizontal Hole	Φ118	552.96-710.98	N/A	N/A
Tubing	Φ101	N/A	1.80-449.00	1.80-486.50

KAZAN SODA TRONA SOLUTION MINING PROJECT			
INSTITUTE OF EXPLORATION TECHNIQUES, CGS			
DESIGN STAGE		BASIC DESIGN	
DWG. NO.	P-413-1	REV. NO.	A
DESIGNED	LIU Wangwei	STAGE	Phase IVC
CHECKED	TU Yunzhong	SIZE	A3
APPROVED	LIU Haixiang	DATE	Nov, 2023

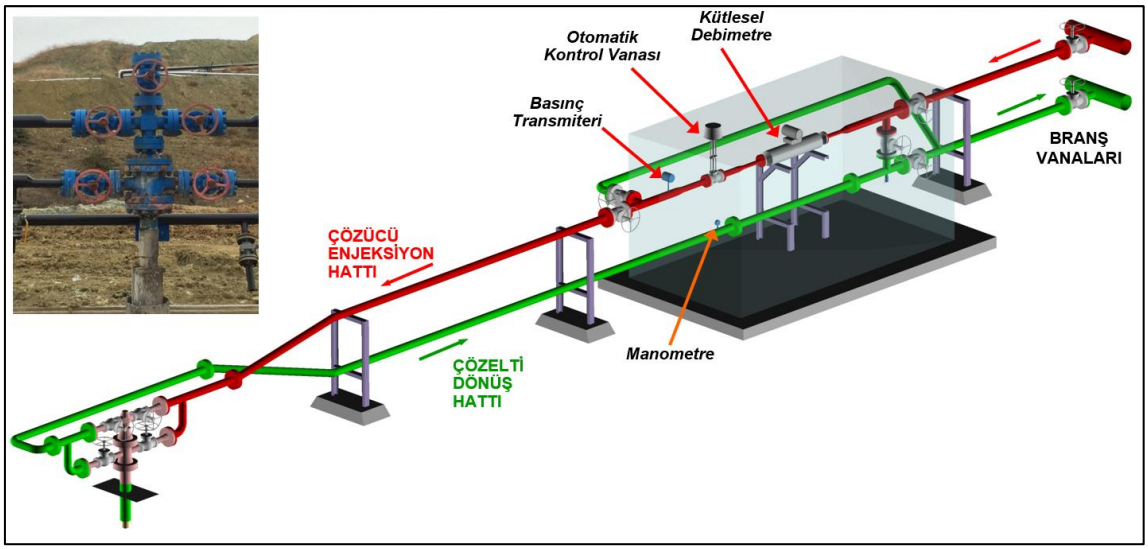
Şekil 17. Yatay kuyu delgi dizaynı (plan ve kesit)

Maden sahasında devam eden sondaj çalışmalarına dair bir görsel aşağıda sunulmuştur (Şekil 18).

Şekil 18. Maden sahası sondaj kuleleri

Sondaj çalışmaları tamamlandıktan sonra kuyu başı vana seti ve ölçüm enstrümanlarının montaj işlemleri yapılır. DCS kontrol odasından devamlı takip edilmek üzere her kuyudan debi, basınç, sıcaklık ve yoğunluk değerleri okunmakta ve tüm kuyularda otomatik kontrol vanaları ile uzaktan erişilerek debi ayarlaması yapılabilmektedir.

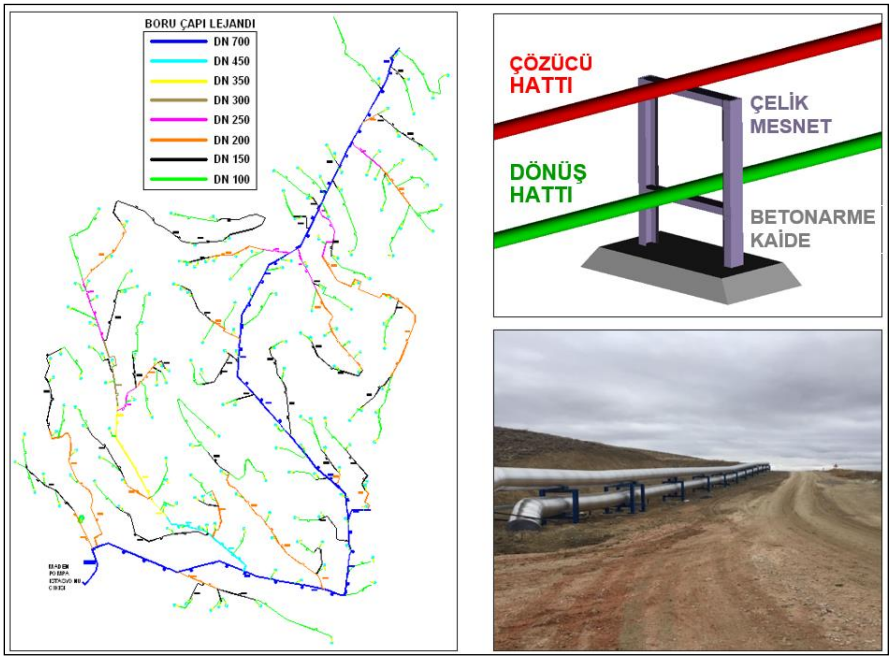
Maden sahasından bir üretim kuyusuna ait kuyu başı şeması ve saha görseli aşağıdaki şekillerde gösterilmiştir (Şekil 19, 20).



Şekil 19. Üretim kuyusu kuyu başı şeması

Şekil 20. Üretim kuyusu vana seti ve ölçüm enstrümanları

Kuyu başı montaj ve borulama çalışmalarının ardından tüm üretim kuyularının ana boru hattına bağlantıları yapılmaktadır. Aşağıdaki şekilde maden sahasına ait ana boru hattı paylaşılmıştır (Şekil 21).



Şekil 21. Maden sahası çözücü ve çözelti boru hatları

Yüzey arazi kullanımı oldukça kısıtlı olan çözelti madenciliği metodunda maden sahasının hâkim bir noktadan görünümü aşağıdaki şekilde gösterilmiştir (Şekil 22).

Şekil 22. Maden sahası yüzey kullanımı, üretim kuyuları ve boru hatları

2. MALZEME VE YÖNTEM

Kazan Soda maden sahasında üretim sondajları için kafes tipi iki ayaklı TSJ2000E 30 metre kule yüksekliğine sahip sondaj makineleri kullanılmaktadır.

Bu sondaj kulelerinin düzenli aralıklarla periyodik kontrolleri TS 10116, TS ISO 4309, TS ISO 9927-1, TS 2340, TS 1203 EN 286-1, TS EN ISO 4126 ve TS EN 791+A1 standartlarının ilgili maddelerine göre yapılmaktadır. Petrol sahalarında benzer sondaj kulelerinden farklı olarak Kazan Soda maden sahasında tüm kuleler elektrikle çalışmaktadır. Kule tahrik elektrik motoru 110 KW, çamur pompası elektrik tahrik motoru 250 KW'tır. Çamur pompasında 3 adet piston ve 1 adet 8 barlık 3 KW kompresör bulunmaktadır. İlgili sondaj makinelerine ait görseller aşağıda sunulmuştur (Şekil 23, 24).

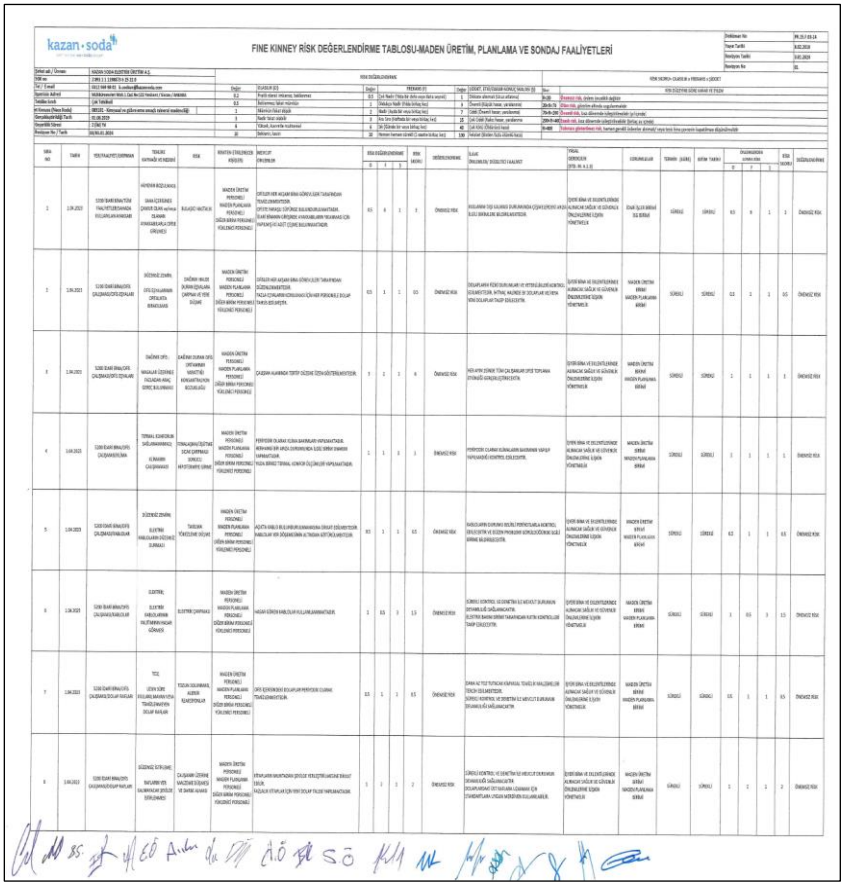
Şekil 23. TSJ2000E kafes tipi sondaj makinesi

Şekil 24. Maden sahası sondaj kuleleri

Sondaj kuyularının hazırlanmasında konvensiyonel metotlardan rotary delgi ve yönlü sondaj çalışmalarında ise çamur motoru kullanılmaktadır.

İlgili maden sahasında 3 vardiya şeklinde 7 gün 24 saat devam etmekte olan sondaj çalışmalarında, yasal gereklilikler sebebiyle Fine Kinney metoduyla hazırlanmış ve düzenli aralıklarla kontrolleri ve güncellemeleri yapılan bir risk değerlendirmesi kullanılmaktadır. Ek olarak JSA (Job Safety Analysis) metoduyla yapılan, her işin ayrı ayrı her kademesi özelinde yapılan risk ve tehlike değerlendirmelerinden oluşan formlar da risk değerlendirmelerinde kullanılmaktadır. Uygulanan iş izni prosedürlerinde, iş izni açılmadan önce mevcut JSA formlarının kontrolleri ve yetkili iş güvenliği uzmanlarınca ihtiyaç bulunması halinde güncellenmesi gerekli kılınmıştır.

Kullanılmakta olan risk değerlendirme metotlarına ait örnekler aşağıda görselleriyle birlikte paylaşılmıştır (Şekil 25, 26).



kazan • soda

FİNE KINNEY RİSK DEĞERLENDİRME TABLOSU-MADEN ÜRETİM, PLANLAMA VE SONDAJ FAALİYETLERİ

Şekil 25. Maden sahası üretim sondajları JSA formu

kazan • soda

SEVİYE 2 İŞ GÜVENLİĞİ ANALİZİ FORMU

İŞ GÜVENLİĞİ ANALİZİ (JSA) SEVİYE 2 FORMU					
Kod					
Birim	Maden Planlama Müdürlüğü	Ekipman	Sondaj kulesi ve yardımcı ekipmanları	Tarih	7.06.2024	Revizyon	
İş Tanımı	Maden sahasında üretim kuyularının açılması için gerçekleştirilen sondaj faaliyetleri				
Talimat -ları	1.İşi yönetilebilir adımlara/görevlere ayırın		3.Adımın/görevin yürütülmesi sırasında neyin yanlış gidebileceğini belirleyin	5.Risk kontrol önlemlerini belirleyin	7.Riski Makul Olarak Uygulanabilir Kadar Düşük (ALARP) seviyeye düşürmek için ek kontrollere olan gereksinimi değerlendirin
	2.Her adımla/görevle ilişkili tüm tehlikeleri tanımlayın		4.Doğal risk derecelendirmesini belirleyin (kontroller olmadan)	6.Mevcut risk derecelendirmesini belirleme (kontrolleri göz önünde bulundurarak)	8.Sorumlu kişileri atamak

#	Adımlar / Görev *İşi yürütme adımları nelerdir?*	Tehlike *Hangi tehlikeler mevcut? (Görev veya Durumsal özel)*	Tehlikeli Senaryo *Ne yanlış gidebilir?*	Doğal Risk			Risk Kontrol Önlemleri *Bunu nasıl önleyebilir ve hafifletebilirz?*	Mevcut Risk			Öneriler/Eylemler	Sorumluluk *Bu kontrollerden kim sorumlu olacak?*
				C	L	R		C	L	R		
1A	İş Ekipmanlarının Platforma Aktarılması	Elle yük kaldırma	İş ekipmanını platforma taşıyan operatörün yaralanması	2	E	2E	1. El ile taşıma prosedürü (PR.12.T.14) oluşturulmuş ve çalışanlar bilgilendirilmiştir 2. 25 kilogramın üstündeki yükler için uygun kaldırma aletleri ile kaldırma işlemi yapılır. 3. Kaldırma işi gözetim altında yapılır. 4. KKD gerekllikleri açıkça tanımlanmıştır. 5. Günlük kontrol listesi aracılığıyla ekipman ve çalışma alanı kontrol edilir. 6. Her delme işleminden önce delme başlangıç denetimi ve işbaşı konuşması gerçekleştirilir.	2	D	2D		
		Merdiven üzerinde yük taşıma	İş ekipmanını merdiven kullanarak platforma taşıyan operatörün sendelemesi ve yaralanması	2	E	2E	1. El ile taşıma prosedürü (PR.12.T.14) oluşturulmuş ve çalışanlar bilgilendirilmiştir 2. 25 kilogramın üstündeki yükler için uygun kaldırma aletleri ile kaldırma işlemi yapılır. 3. Kaldırma işi gözetim altında yapılır. 4. KKD gerekllikleri açıkça tanımlanmıştır. 5. Günlük kontrol listesi aracılığıyla ekipman ve çalışma alanı kontrol edilir. 6. Her delme işleminden önce delme başlangıç denetimi ve işbaşı konuşması gerçekleştirilir. 7. Merdiven kullanırken 3 nokta kuralına	2	D	2D		

Şekil 26. Maden sahası üretim sondajları JSA formu

3. JSA (JOB SAFETY ANALYSIS) RİSK DEĞERLENDİRME METODU

İş Bazlı Risk Analizinin (JSA) amacı, İş Güvenliği Analizi yaparak, faaliyette olan tesislerde iş yapan personele ilişkin tehlike tanımlamalarının kapsamını genişletmek ve personelin güvenlik konusundaki farkındalığını artırmaktır. İş Güvenliği Analizi işle ilgili tehlikeleri, işin yeri ve çalışma sahası koşullarıyla ilişkilendirerek ilgili risk kontrol ve hafifletme önlemlerinin iş yürütmeden önce uygulanması için tanımlanması ve değerlendirilmesini sağlamaktadır.

İş Bazlı Risk Analizi, rutin ve rutin dışı operasyon, bakım ve devreye alma çalışmaları gibi işletme içerisindeki tüm çalışmaları kapsamaktadır.

Yürütülen tüm (rutin ve rutin dışı) iş faaliyetleri ile ilgili olarak işyerinde karşılaşılabilecek tehlike ve riskler için bu analiz yöntemi geçerli olup, tehlike ve risklere örnek olarak aşağıdakiler verilebilir:

- Tesis, makine, kimyasal ve ekipmanla ilgili tehlikeler,
- İşyerindeki madde ve malzemelerle ilişkili tehlikeler,
- Eşzamanlı faaliyetlerle ilişkili tehlikeler,
- İşyeri dışından kaynaklanan ve çalışma ortamını olumsuz etkileyebilecek tehlikeler ve
- Sert hava koşulları veya acil durumlarla ilişkili tehlikeler.

İş Güvenliği Analizi, belirli bir işle ilgili çalışma koşullarını iyileştirmek amacıyla risk değerlendirmesi ve azaltımı için kullanılan bir araçtır. Çalışma adımlarının, güvenlik ile ilgili hususları dikkate alacak şekilde tanımlanmasını ve analiz edilmesini içerir. Bu süreç boyunca tüm faaliyetler listelenerek, ilgili riskler belirlenir ve bu riskleri en aza indirmeye yönelik tedbirler kararlaştırılır.

3.1. Risk Değerlendirme Matrisi ve Kabul Edilebilirlik Seviyeleri

Sondaj çalışmaları öncesinde 5x5 matris yöntemiyle hazırlanan İş Güvenliği Analizi (Job Safety Analysis) ile her bir adımda mevcut veya

karşılaşılabilecek tehlike ve tehlike senaryoları önceden tespit edilmekte ve proaktif yaklaşım ile risklerin ortadan kaldırılması veya kabul edilebilir seviyeye düşürülmesi hedeflenmektedir. Aşağıdaki görsellerde JSA risk değerlendirme matrisi ve risk seviyeleri paylaşılmıştır (Şekil 27, 28).

Sonuç -ları				Sonuç Olasılığı				
			Mali	A – Nadir	B – Olası Değil	C – Mümkün	D – Muhtemel	E – Çok Olası
Seviye	**Sağlık & Güvenlik**	**Çevre**	*(Varlık Hasarı, Üretim Maliyeti, diğer maliyetler)*	*10.000 yılda bir kez veya daha fazla*	*1.000 yılda bir kez veya daha fazla*	*100 yılda bir kez veya daha fazla*	*10 yilda bir kez veya daha fazla*	*Yılda bir kereden daha fazla*
5 – Felaket	Çoklu Ölümler	Tesis içini/dışını etkileyen, çevre ruhsatının iptaline VEYA uzun süreli etkileri olacak tesis dışı çevresel zarara neden olabilecek Tesis İçi Hava, Toprak, Su veya Gürültü Kirliliği	10 Milyon ABD dolarından fazla	5A	5B	5C	5D	5E
4 – Kritik	Bir Ölüm	Tesis içini/dışını etkileyen, mali cezalara VEYA kapsamlı temizlik gerektirecek tesis dışı çevresel zarara neden olabilecek Tesis İçi Hava, Toprak, Su veya Gürültü Kirliliği	500 bin ile 10 milyon ABD doları arasında	4A	4B	4C	4 D	4E
3 – Önemli	Kalıcı Sakatlık veya Birden Fazla Kişi İçin Kayıp Zamanlı Kaza	Tesis içini/dışını etkileyen, yasal uyarıya VEYA temizlik gerektirecek tesis dışı çevresel zarara neden olabilecek Tesis İçi Hava, Toprak, Su veya Gürültü Kirliliği	50 bin ile 500 bin ABD doları arasında	3A	3B	3C	3D	3E
2 – Az Önemli	Bir Kişi İçin Kayıp Zamanlı Kaza veya Kısıtlı Çalışma Durumu	Tesis sınırları içerisinde tezahür eden ancak tesis dışından müdahale gerektiren Tesis İçi Hava, Toprak, Su veya Gürültü Kirliliği	10 bin ile 50 bin ABD doları arasında	2A	2B	2C	2D	2E
1 – Önemsiz	İlk Yardım Vakası	Tesis sınırları içerisinde tezahür eden Tesis İçi Hava, Toprak, Su veya Gürültü Kirliliği	10 bin ABD doların'dan az	1A	1B	1C	1D	1E

Şekil 27. JSA risk değerlendirme matrisi

Risk Seviyesi	Aksiyon
Aşırı	• Mevcut risk aşırı ise, ek kontroller uygulanana veya riski kabul edilebilir bir seviyeye indirecek alternatif bir süreç veya faaliyet bulunana kadar operasyon veya faaliyet durdurulur. Bu, tedarikçilerden veya iç, dış konu uzmanlarından ek girdiler gerektirebilir. • Riski kabul edilebilir seviyelere kadar önlemek veya azaltmak için önlemler belirlemek mümkün değilse, devam etmeden önce gözden geçirmeleri ve onaylamaları için üst yönetimin dikkatine sunulmalıdır.
Yüksek	• Mevcut risk yüksekse, risk seviyesini Orta veya daha düşük seviyeye düşürmek için risk azaltma önlemlerinin, COO'nun devam eden operasyon onayı ile risk değerlendirme tarihinden itibaren altı (6) aya kadar uygulanması koşuluyla operasyona veya faaliyete devam edilebilir. • Orta kalıntı riskine belirtilen süre içinde ulaşılamazsa, ek kontroller uygulanana veya riski kabul edilebilir bir seviyeye indirecek alternatif bir süreç veya faaliyet bulununcaya kadar operasyon veya faaliyet durdurulur.
Orta	• Mevcut risk orta düzeydeyse, değerlendirme ekibinin; tanımlanan kontrollerin uygulandığı ve etkili olduğu ve riski daha da azaltmak için ek kontrollerin tanımlanamadığı konusunda tatmin olması gerekir (yani risk ALARP'tır). • Bir riskin ALARP'a indirgendiğinden emin olmak, riski daha da azaltmak için yapılması gereken işle karşılaştırılmasının sonucuyla ilgilidir. Verilen karar, sağlık ve güvenlik yönlerine yoğunlaştırılır. Çünkü yapılan varsayım; uygulama maliyetlerinin, sağlanan faydalara göre büyük ölçüde orantısız olduğu gösterilemediği sürece, risk azaltma önleminin uygulanacağı yönündedir. • Çoğu durumda, risklerin ALARP olup olmadığına karar vermek, yürürlükte olan veya önerilen kontrol önlemleri ile normalde bu gibi durumlarda görmeyi bekleyeceğimiz önlemler arasında bir karşılaştırma yapmayı içerir.
Düşük	• Mevcut risk düşükse, tanımlanan kontrollerin uygulandığından ve etkili olduğundan emin olmak ve iyileştirme için daha fazla fırsatın farkında olmak hala önemlidir.

Şekil 28. JSA risk seviyeleri ve aksiyonlar

3.2. Çözelti Madenciliği ve Sondaj İşlemlerinde İş Güvenliği Analizi

İş Güvenliğinde ilk adım, iş güvenliği faaliyetlerinde proaktif bir yaklaşım oluşturmaktır. İş Güvenliği Analizi (JSA), çalışma ile ilgili metotların belirlenmesi, her işin adımlara veya görevlere bölünmesi, her adımdaki tehlikelerin ve risklerin ortaya çıkmadan belirlenmesi ile risklerin ortadan kaldırılması veya kabul edilebilir, makul olarak uygulanabilecek kadar düşük seviyeye indirmek için gerekli kontrol faaliyetlerinin belirlenmesi için gerçekleştirilen analiz yöntemidir.

İş Güvenliği Analizi şu adımlardan oluşur;

I. İş Güvenliği Analizi gerçekleştirilecek işin belirlenmesi,

II. Çalışma metodunu belirlenerek işin adımlara bölünmesi,

III. Her adımdaki potansiyel tehlikelerin belirlenmesi,

IV. Risk Kontrol Hiyerarşisi uygulayarak her tehlike senaryosu için kontrol önlemlerinin belirlenerek risklerin ortadan kaldırılması veya kabul edilebilir, makul olarak uygulanabilecek kadar düşük seviyeye indirmek için analiz edilmesi.

3.2.1. Çözelti madenciliği ve sondaj işlemlerinde iş güvenliği analizi

Çalışma metodu belirlenirken işi oluşturan sıralı görevler ve her görevdeki işle ilgili güvenlik tedbirleri, mevcut önlemler, kontroller, emniyet ekipmanları, kişisel koruyucu donanımlar belirlenir ve işin gerçekleşmesi esnasında çalışanların güvende tutulması için güvenli çalışma ortamının şartları ve çalışma yöntemi ayrıntılı olarak açıklanır.

Çalışmanın yapıldığı projede belirlenen çalışma metodu aşağıdaki gibidir.

- Maden Sondaj Alanı Lokasyon Hazırlığı
- Sondaj Kulesinin Mobilizasyonu
- Sondaj Kulesinin Montajı ve Delgi Start İşlemleri
- Kademe Delgi İşlemi

- Log Alma İşlemi
- Kuyu Başı Bağlantılarının Yapılması
- Enstrüman Montajı ve Kumanda Odası (DCS) Tanımlama İşlemi

Maden Planlama birimi tarafından fay hattı, yüzeydeki topografik koşullar, arazi kullanım izinleri ve cevher durumuna göre hazırlanan maden sahası imalat haritasına göre sondaj noktaları belirlenmektedir. Daha sonra belirlenen sondaj alanında delgi işlemleri için aşağıdaki adımlar gerçekleşmektedir.

Çalışmanın yapıldığı projede belirlenen çalışma metodu ve her metottaki işlemler aşağıdaki gibidir.

I. Maden Sondaj Alanı Lokasyon Hazırlığı (Şekil 29);

- Sondaj platformunun tesis edileceği noktanın zemin etüdü gerçekleştirilerek zeminin taşıyacağı yükün belirlenmesi,
- Sondaj kulesi, kafes yapı ve kule bağlantı elemanları ile ankraj noktalarının statik ve dinamik analizlerinin gerçekleştirilmesi,
- Sondaj alanındaki açık arazi koşullarında Türkiye rüzgâr atlasına göre kritik rüzgâr hızına maruz kalındığında statik durumun kontrolü, kaynak kesitlerinin kontrol edilmesi,
- Zeminden ana kayaca kadar zemin tesviyesinin yapılması,
- Sondaj alanı erişim yol hazırlıkları,
- Boru hatları güzergahlarının hazırlanması,
- Elektrik ve su hatlarının çekilmesi ve
- Çamur havuzunun hazırlanması işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Şekil 29. Zemin etüdü çalışmaları

II. Sondaj Kulesinin Mobilizasyonu (Şekil 30);

- Sondaj kulesi ve platformun sondaj alanına taşınması,
- Sondaj ekipmanları ve borulama malzemelerinin sondaj alanına taşınması,
- Elektrik piyon direklerinin montajı, trafo ve köşklerin taşınması ve
- Yaşam alanının taşınması işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Şekil 30. Sondaj kulesi mobilizasyonu ve piyon elektrik direği montajı

III. Sondaj Kulesinin Montajı ve Delgi Start İşlemleri (Şekil 31);

- Sondaj kulesinin montajı,
- Elektrik ve su bağlantılarının yapılması,
- Çamur pompalarının kurulumu,
- Gaz algılama ve ihbar sisteminin kurulumu ve
- Derikman kaçış sisteminin kurulumu gerçekleştirilmektedir.

Şekil 31. Çamur pompası ve Derikman kaçış sistemi montajı

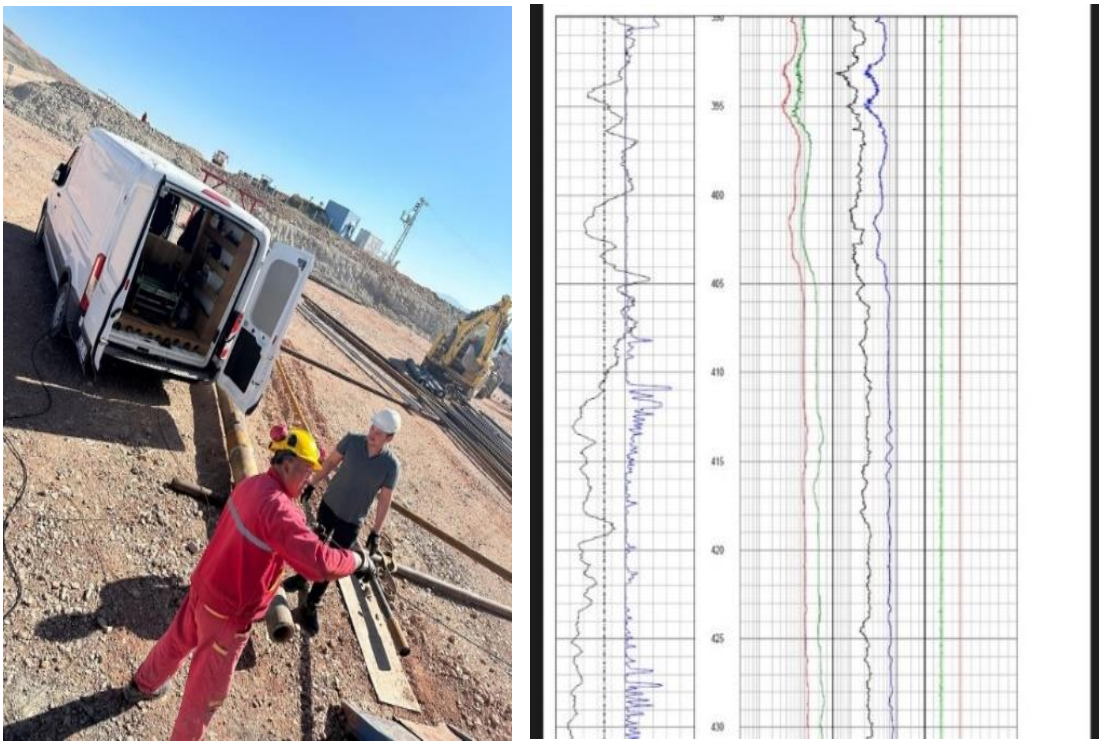
IV. İlk Kademe Delgi İşlemi (Şekil 32);

İlk kademe delgi akifer tabanına kadar yapılır, muhafaza borusu indirilir ve çimentolama işlemi gerçekleştirilir. İkinci Kademe Delgi İşlemi ise; birinci kademe delgi tamamlandıktan sonra trona zonuna kadar delgiye devam edilir. Muhafaza boruları indirilerek, çimentolama işlemi gerçekleştirilir.

Şekil 32. Muhafaza borularının kuyuya sürülmesi ve çimentolama

V. Log Alma İşlemi (Şekil 33);

Kuyu içi log alma işlemleri jeofizik formasyon ve yatak tayinleri işlemleri için gerçekleştirilir. Kuyu logu çalışmalarının amacı, sondaj kuyularında ortamın bazı fiziksel parametrelerinin (özdirenç, yoğunluk, radyoaktif özellikler vb.) derinliğin fonksiyonu olarak ölçülmesi ve kayıt altına alınmasıdır. Log işlemi üstte belirtilen iki kademede delgi işleminde de uygulanır. Delgi işlemi sonrası jeolojik istifin tayin edilmesi, cevher yataklanmalarının belirlenmesi ve çimento bağ kalitesinin belirlenmesi için uygulanmaktadır.



Şekil 33. Log alma işlemi ve Log analizi

VI. Kuyu Başı Bağlantılarının Yapılması (Şekil 34);

Delgi işlemi tamamlandıktan sonra iki dikey ve bir yatay kuyu irtibatlandırılarak, çözelti ve çözücü sevk borularının montajları gerçekleştirilmektedir.

Şekil 34. Kuyu başı bağlantılarının yapılması ve çözelti/çözücü boru hattı çekilmesi

VII. Enstrüman Montajı ve Kumanda Odası (DCS) Tanımlama İşlemi

Kuyu başına basınç transmitter, elektrik aktüatörlü vana ve debimetre montajı yapılarak akış kontrolü, basınç, sıcaklık, yoğunluk ve akış verilerinin alınması sağlanır. Kuyu başındaki dağıtım panosundan fiber optik kablo ile tüm sinyaller ana kumanda odasında bulunan server'e taşınmaktadır (Şekil 35). Taşınan bu sinyaller operatör bilgisayarlarına tanımlamaları gerçekleştirilerek işletmeye alınmaktadır.

Şekil 35. Enstrüman montajı ve DCS kumanda odası

Çizelge 1. Olası tehlikeler ve ait olduğu tehlike sınıfı

Kategoriler	Olası Tehlikeler
Fiziksel (işyeri ile ilgili) Tehlikeler	Kayma, takılma, düşme Gürültü Yetersiz aydınlatma Termal konfor şartlarının sağlanamaması Asılı yük (fırlayan nesneler ve eğik duran şeyler dahil) Erişim ve çıkış (kısıtlı alan) Yüksekte çalışma (merdiven, platform, piyon direği) Kazı çalışmaları Araç kullanma

Kategoriler	Olası Tehlikeler
Fiziksel (Süreçler/Makineler ile ilişkili) Tehlikeler	Döner ekipmanlar Hareketli ekipmanlar Keskin yüzeyler Aletler (El aletleri dahil) Titreşim Basınçlı kaplar Ani gaz çıkışı Kaldırma operasyonları Depolanmış, stres altında enerji (caraskal, çektirme)
Kimyasal Tehlikeler	Ani gaz çıkışı Yanıcı maddeler
Özel Kimyasal Formlar ve Bileşenler	Toz/duman/parçacık Basınçlı gaz tüpü
Çevresel Tehlikeler	Dökülmeler (sıçramalar, tahliye sırasında meydana gelen dökülmeler vb.) Toprağın kirlenmesi Atık üretimi Hava koşulları
Elektrikle İlişkili Tehlikeler	Elektrik Statik elektrik (şok veya ateşleme kaynağı olarak) Elektrikle çalışan ekipman
Muhtemel İlave Risk Değerlendirmeleri	İş baskısı Ergonomi (elle taşıma) Yabani yaşam Yıldırım
Diğer Durumsal Koşullar/Saha Koşulları	Eş zamanlı faaliyetler

4. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan çalışma öncesi sondaj sahası iş sağlığı ve güvenliği yönünden incelenmiş ve iş bazlı risk analizi gerçekleştirilmiştir. Öncelikle trona madeni ve çözelti madenciliği konusunda genel bilgilendirme yapılmıştır. Daha sonra iş bazlı risk analizi (JSA) hakkında genel bilgilendirme yapılmış ve metodolojisi hakkında bilgilendirme gerçekleştirilmiştir. İkinci kısımda sondaj çalışmaları adımlara bölünmüş her adımda gerçekleşen faaliyetlerden bahsedilmiş ve tehlike kategorilerine göre olası tehlikeler belirlenmiştir. Tespit edilen bu tehlikelere istinaden alınması gereken güvenlik önlemleri belirlenmiştir. Yapılan bu çalışma ile çözelti madenciliği sondaj işlemleri için iş güvenliği analizinin uygulanabilirliği ispatlanmış bulunmaktadır.

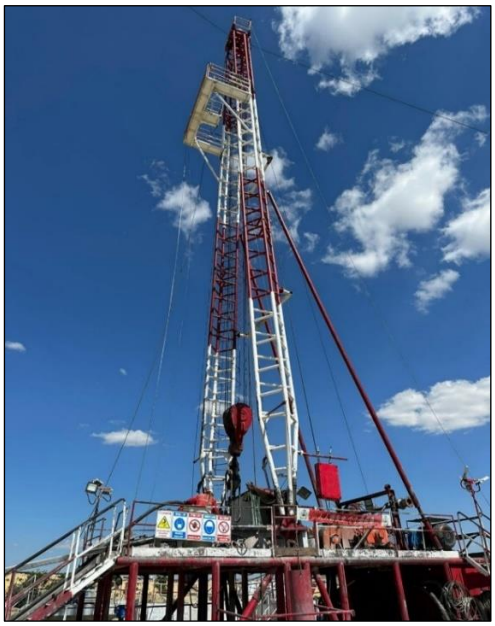
İş Güvenliği ve İşyeri Hekimliği birimlerinin katılımı ile sondaj alanında düzenli aralıklarla gerçekleştirilen ihbarlı ve ihbarsız tatbikatlar ile olası bir acil durumda acil durum ekiplerinin bilgi ve deneyimlerinin taze tutulması amaçlanmıştır (Şekil 36).

Şekil 36. İlgili birimlerin katıldığı tatbikatlar

Yapılan risk değerlendirmelerinde tespit edilmiş ve yüksek öncelikli güvenlik tehditleri, sondaj makinesi kule platformunda çalışan personel için acil durumlarda kullanılmak üzere bir kaçış sistemi kurularak giderilmiştir (Şekil 37).

Şekil 37. Sondaj kulesi acil durum kaçış sistemi (derrickman escape system)

Sondaj kulesinde Türkçe ve Çince dillerinde sağlık ve güvenlik işaretlemeleri gerçekleştirilmiştir (Şekil 38).



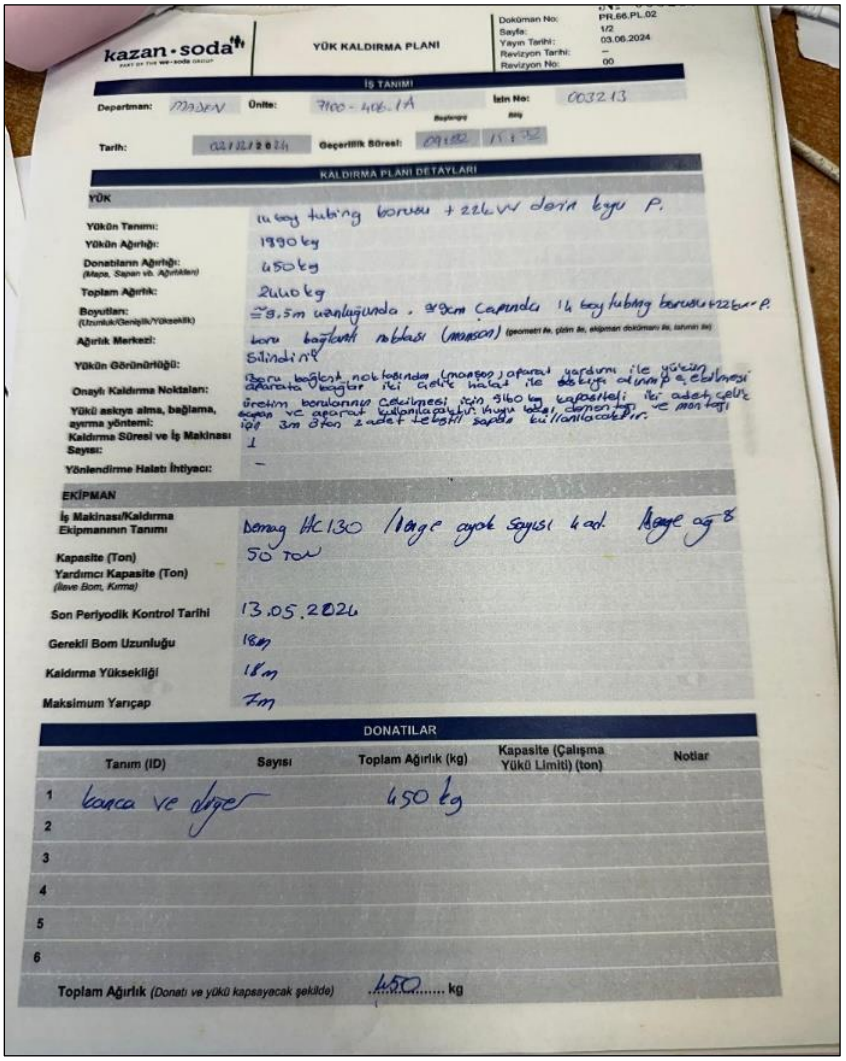
Şekil 38. Sondaj kulesi uyarı levhaları

Ayrıca çözelti madenciliği sondajlarında yer altından her an gaz ve su gelme riskine karşı kuyu başı emniyet vanasının bağlı olması gerekmektedir. Projenin gerçekleştirdiği işletmeye ait sondaj alanlarında kuyu başı emniyet vanasının (BOP-Blow-out preventer) temin edildiği gözlemlenmiştir (Şekil 39). Hidrokarbonların kontrolsüz salınımı ciddi patlama riskleri oluşturabilir ve çevreye zarar verebilir. Kuyu başı emniyet valfi kontrol sistemleri sondaj işlemleri esnasında ani hidrokarbon gaz çıkışını önleyerek patlamanın önüne geçilmesini sağlamaktadır.

Şekil 39. Blow-out preventer (BOP)

Sondaj kulesi mobilizasyon çalışmaları esnasında gerçekleştirilen elleçleme çalışmaları öncesi Vinç İş İzin Formu ile birlikte Kaldırma Operasyonları Süpervizörleri tarafından Yük Kaldırma Planı hazırlanmakta ve çalışmalara İşaretçi ve Sapancı belgeli çalışanlar nezaret etmektedir (Şekil 40, 41).

Şekil 40. Sondaj sahası yük kaldırma operasyonları



kazan·soda

YÜK KALDIRMA PLANI

Doküman No: PR.66.PL.02
Sayfa: 1/2
Yayın Tarihi: 03.06.2024
Revizyon Tarihi: --
Revizyon No: 00

İŞ TANIMI

Departman: MADEN Ünite: 7100 - 406.14 İzin No: 0032.13

Tarih: 02.12.2024 Geçerlilik Süresi: 09:00 15:30

KALDIRMA PLANI DETAYLARI

YÜK

Yükün Tanımı: 14 kay tubing borusu + 22kW derin kuyu P.
Yükün Ağırlığı: 1990 kg
Donatıların Ağırlığı: (Mapa, Sapan vb. Ağırlıkları) 450 kg
Toplam Ağırlık: 2440 kg
Boyutları: (Uzunluk/Genişlik/Yükseklik) ≈8,5m uzunluğunda, 98cm çapında 14 kay tubing borusu+22kW P.
Ağırlık Merkezi: boru bağlantı noktası (manşon) (geometri ile, çizim ile, ekipman dokümanı ile, tahmini ile)
Yükün Görünürlüğü: Bilinidir
Onaylı Kaldırma Noktaları: Boru bağlantı noktasından (manşon) aparat yardımı ile yükün dengede durması ve boruların iki adet halat ile dengeye alınıp açılması
Yükü askıya alma, bağlama, ayırma yöntemi: Üretim borularının çekilmesi için 9160 kg kapasiteli iki adet çelik aparat ve aparat bulunmayan kuyu ağzı, demontaj ve montaj işl. 3m 8ton 2 adet tekstil sapan kullanılacaktır.
Kaldırma Süresi ve İş Makinası Sayısı: 1
Yönlendirme Halatı İhtiyacı: -

EKİPMAN

İş Makinası/Kaldırma Ekipmanının Tanımı: Demag HC130 / Mobil ayak sayısı 4 ad. Mobil ağ-8
Kapasite (Ton): 50 ton
Yardımcı Kapasite (Ton) (İlave Bom, Kırma)
Son Periyodik Kontrol Tarihi: 13.05.2026
Gerekli Bom Uzunluğu: 18m
Kaldırma Yüksekliği: 18m
Maksimum Yarıçap: 7m

DONATILAR

	Tanım (ID)	Sayısı	Toplam Ağırlık (kg)	Kapasite (Çalışma Yükü Limiti) (ton)	Notlar
1	kanca ve diğer		450 kg		
2					
3					
4					
5					
6					

Toplam Ağırlık (Donatı ve yükü kapsayacak şekilde) ..450..... kg

Şekil 41. Örnek yük kaldırma planı

5. SONUÇLAR

Yeraltındaki maden yatağına sondaj kuyuları açılması ve bu sondaj boruları içinden çözücünün pompalarla gönderilmesiyle yeraltındaki oluşumun erimesi sonucu kaverna oluşumunu sağlayarak çözeltinin oluşan kavernaya dolup üretim boruları aracılığıyla yeryüzüne alındığı, yani endüstriyel hammaddenin kazanıldığı yöntem "çözelti madenciliği" olarak tanımlanmaktadır. Çözelti madenciliği yöntemi, çözücüsü genelde su olan tuz, trona gibi madenlerin işletilmesinde teknolojik, ekonomik ve iş güvenliği açısından oldukça güvenli bir yöntemdir.

Çözelti madenciliği yöntemi tuz, kükürt ve trona gibi hammaddelerin işletilmesinde son derece güvenli, teknolojik ve çevre dostu olan bir yöntemdir. Ayrıca bu tür madenlerde yeraltı madenciliğine alternatif olarak geliştirilen çözelti madenciliği yöntemi iş sağlığı ve güvenliği açısından oldukça risksiz bir çalışma ortamı sunmaktadır.

Ülkenin en önemli sektörlerinden olan maden sektörü de çalışan güvenliği noktasında gerekli önlem ve tedbirleri almak zorundadır. Mevcut mevzuatlarda işverene çok ciddi yükümlülük ve sorumluluklar verilmiştir. Bu açıdan bakıldığında çalışmaya konu olan işletme iş güvenliği uygulamaları açısından örnek bir işletmedir. Sadece bu konuda üst yönetimin hassasiyetinin artması sondaj alanlarında meydana gelecek olan iş kazası sayılarında ciddi azalışa neden olacaktır. Daha güçlü ve daha sağlam adımlarla ilerlemek isteyen maden sektörü kesinlikle bu ilerlemeyi çalışanları ile yapacaktır.

KAYNAKLAR

Kazan Soda, PR.62. Risk Değerlendirme & Yönetimi (RAM) Prosedürü (2023).

Kazan Soda, PR.66. İş İzni Prosedürü (2024).

Kazan Soda, PR.15.F03 Maden Birimi Fine Kinney Risk Değerlendirmesi (2024).

Kazan Soda, PR.76.F02 Maden Üretim Sondajları JSA formu (2024).

YERLEŞİM ALANINA YAKIN BİR KIRMATAŞ OCAĞINDA KAYA DÜŞME POTANSİYELİNİN İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF ROCKFALL POTENTIAL IN A CRUSH STONE QUARRY CLOSE TO A RESIDENTIAL AREA IN TERMS OF OCCUPATIONAL SAFETY

İbrahim Çobanoğlu
Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli.

İsmail Dinçer
Hacı Bektaş Veli Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Nevşehir.

Sefer Beran Çelik
Pamukkale Üniversitesi, Müh. Fak. Jeoloji Mühendisliği Bölümü, Denizli.

Kazım Gireson
Pamukkale Üniversitesi, Kale MYO, Madencilik ve Maden Çıkarma Bölümü, Denizli

ÖZ: Kırmataş üretimi yapılan alanlarda üretim aynaları ile birlikte doğal kaya yamaçlarında kaya düşmesi şeklinde hareketler meydana gelebilmektedir. Yamaç eğiminin fazla olduğu yüksek alanlarda yürütülen ocak faaliyetleri, yakın mesafelerdeki yerleşim yerleri açısından da risk oluşturabilmektedir. Bu tür alanlarda yapılacak çalışmalarda kaya düşme risklerinin ve etki alanlarının belirlenmesi önem taşımaktadır. Bu çalışmada kireçtaşı kırmataş üretimi yapan bir agrega ocağı işletme alanındaki kaya düşme potansiyeli incelenmiş ve ocağın yaklaşık 500 m kuzeyinde yer alan bir köy yerleşim alanına etkileri analiz edilmiştir. Kaya düşmelerinin önüne geçilmesi amacıyla, ocağın köye bakan yamacında patlatmalı üretim yapılmaması, yamaçta tutucu hendek oluşturulması ve yamaç eteğinde esnek ağ yapılarının teşkil edilmesi şeklinde önlemlerin alınması işlemleri gerçekleştirilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kaya düşme riski, kırmataş ocağı, patlatma, iş güvenliği.

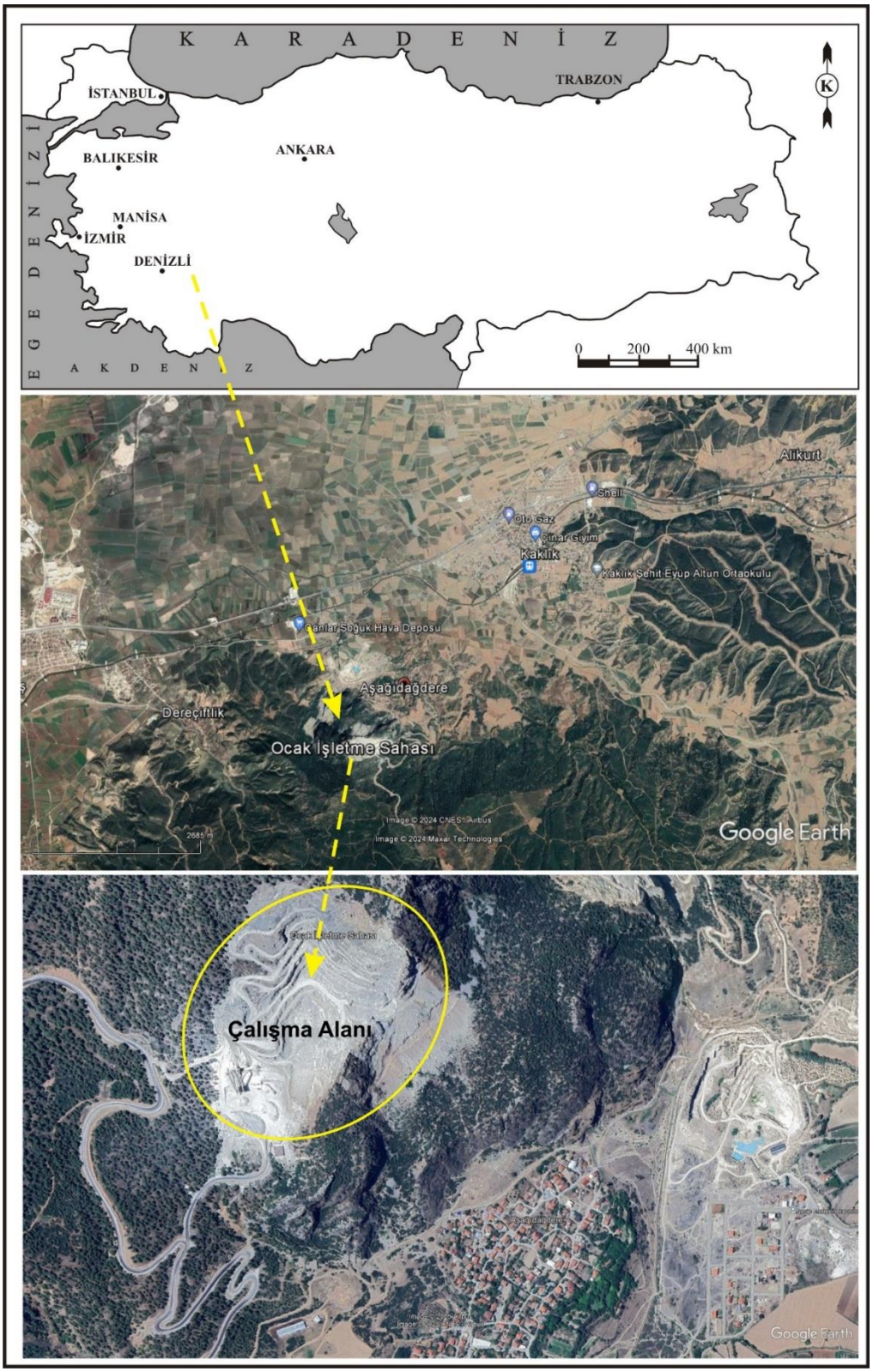
ABSTRACT: *In areas where crushed stone is produced, rockfalls can occur on natural rock slopes together with quarry faces. Quarry activities carried out in high areas where the slope is high can also pose a risk for settlements in close proximity. In studies to be carried out in such areas, it is important to determine rockfall risks and impact areas. In this study, the rockfall potential in an*

aggregate quarry area producing limestone crushed stone was examined and its effects on a village settlement area located approximately 500 m north of the quarry were analyzed. In order to prevent rockfalls, measures were taken such as not performing blasting production on the slope of the quarry facing the village, creating a holding pit on the slope and creating flexible wire mesh structures at the foot of the slope.

Keywords: *Rock fall risk, crushed stone quarry, blasting, occupational safety.*

1. GİRİŞ

Kırmataş ocağı şeklinde yürütülen madencilik faaliyetleri sırasında hem ocak içerisindeki ve hem de ocak etki alanındaki risk faktörlerinin belirlenmesi ve bilinmesi önem taşımaktadır. Özellikle eğimli yamaçlarda çalışan işletmelerde patlatma ve kazı çalışmaları, kaya kütle özelliklerinin değişmesine ve potansiyel kitle hareketlerinin oluşumuna neden olabilmektedir. Bu çalışmada yamaçta yer alan ve kırmataş üretimi yapılan bir agrega ocağında üretim faaliyetlerine bağlı olarak meydana gelen kaya düşmeleri ele alınmış ve daha aşağıda yer alan yerleşim alanına etkileri ortaya konulmuştur. Meydana gelebilecek olası kaya düşmelerinin mahalle yerleşim alanına etkilerini bertaraf etmek amacıyla önerilmiş hendek açımı ve çelik ağ yöntemleri incelenmiştir.



Şekil 1. İnceleme alanı ve yakın çevresini gösterir yer bulduru haritası.

2. MATERYAL VE METOT

Bu çalışma kapsamında sahanın güncel durumu incelenmiş ve kaya kütle özellikleri tespit edilmiştir. Sahanın güney tarafında ve daha alt kotta yer alan köyün patlatma ile meydana gelebilecek kaya düşmelerinden etkilenme durumunun gözlenmesi amacıyla yapılan bir patlatma sırasında yamaç üzerindeki kütle hareketliliği izlenmiş ve video kaydı alınmıştır. Kaya düşme analizlerinde kullanmak üzere ayrıca drone ile uçuş yapılarak sahaya ait veri bulutu ile orto-foto alımı sağlanmıştır. Bu veriler, bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş kaya düşmesi modellemelerinde kullanılmıştır.

Yapılan arazi çalışmalarında, kaya düşmesi riskini oluşturacak kaynak alanlar ile olası blok boyutları belirlenmiştir. Blok boyutlarının belirlenmesinde yamaçlara taşınarak serilmiş bloklar üzerinde yapılan metrik ölçüm çalışmalarından faydalanılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

İncelenen saha Denizli'nin yaklaşık 30 km doğusunda yer almaktadır (Şekil 1). Saha, 1/25 000 ölçekli Denizli M22-b3 ve Denizli M22-b4 paftasının birleşiminde yaklaşık 20 km^{2}'lik bir alanı kaplamaktadır. Çalışma alanına yakın olan yerleşim yerleri; kuzeydoğuda Aşağıdağdere Mahallesi, güneyde Yukarı Dağdere Mahallesi ve batıda Dereçiftlik Mahallesi'dir. Bu yerleşim yerleri birbirine asfalt ve stabilize yollarla bağlıdır. Çalışma alanına en yakın yerleşim yeri Aşağı Dağdere Mahallesi olup işletilen ocağa uzaklığı kuş uçuşu yaklaşık 500 m'dir.

Morfolojik yönden inceleme alanının en yüksek kotunu 1075 m'lik rakımıyla Çallı Tepe oluştururken, bunu 1040 m'lik rakımla Yukarı Dağdere Mahallesi ve 1024 m'lik rakımıyla Kelkaya Tepe izler. Aşağı Dağdere Mahallesi civarında rakım 550 m'lere kadar düşmektedir. Hali hazırda kalker sahası olarak işletilmekte olan yerin kotu yaklaşık 800 - 1000 m arasındadır.

3.1. İnceleme Alanının Jeolojisi

Çalışma alanında yüzeylenen litolojik birimler yaşlıdan gence doğru; Jura-Kretase yaşlı Çökelez kireçtaşları, Üst Paleosen-Alt Eosen yaşlı Kelkaya Formasyonu ve bu birimle uyumlu olan Dereçiftlik Formasyonu, Oligosen yaşlı Karadere Formasyonu ve Miyosen yaşlı Kızılburun Formasyonu'dur. Bütün bu birimleri ise Kuvaterner yaşlı travertenler, kolüvyonlar ve alüvyonlar açılı uyumsuzlukla örtmektedirler.

Çökelez kireçtaşları, çalışılan sahada allokton konumlu (Likya napları) olarak bulunmaktadır (Şekil 2). Tabanda şeyl ara tabakalı gri-krem renkli ince-orta tabakalanmalı mikritik kireçtaşlarıyla başlayıp, üste doğru kalın tabakalanmalı kireçtaşlarına ve en üst seviyelerine doğru da masif, dolomitik, çörtlü ve intraformasyonal kökenli breşik kireçtaşlarına geçiş göstermektedir.

Şekil 2. Çalışma alanı içerisindeki kireçtaşlarından (Çökelez Formasyonu) görünümler.

4. PATLATMANIN KAYA DÜŞMESİ TÜRÜ KİTLE HAREKETLERİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

Bilindiği üzere kaya kütlelerinin heterojen özellikler sergilemeleri ve süreksizlikler etkisiyle bölünmüş anizotropinin varlığı, onların farklı kütlesel davranışlar sergilemelerine neden olmaktadır. Patlatmalı üretim yapılan kırmataş ocaklarında süreksizlik konumlarının belirlenmesi ve üretim planlamalarının da

bu bilgiler doğrultusunda yapılması önem taşımaktadır. Özellikle, hakim süreksizlik konumlarının ocak aynasına paralel olduğu durumlarda en büyük atım kütlesinin elde edileceği bileinmektedir. Yapılan araştırmalar, patlatmaya karşı benzer direnç gösteren kaya kütleleri için en düşük maliyetle en yüksek verimin, şev aynası yönünün hakim süreksizlik doğrultusuna paralel olarak seçilmesi durumunda elde edildiğini ortaya koymuştur (Özkahraman ve Bilgin, 1996). Aynı kaynak, Belland, (1966) tarafından yapılan teorik çalışmalar ve Singh ve Sastry, (1987) tarafından yapılan model deneylerle de bu hususun vurgulanmış olduğunu bildirmektedir.

Çalışma alanında kırık ve çatlak sistemi ölçümleri, süreksizlik konumlarının ağırlıklı olarak KG ve KB – GD yönünde olduğunu ortaya koymuştur. İşletilmekte olan ocakta patlatmaların bu doğrultulara yakın teşkil edilmesi, patlatma etkinliği ve verimi açısından önem taşımaktadır. Atımın belirtilen doğrultular içerisinde ve yamaç içine doğru yapılıyor olması, çevresel etki açısından da önem arz etmektedir.

Sahada yapılan aletsel ölçüm sonuçları, ocakta yapılan patlatmalarla sınır titreşim değerlerinin aşılmayacağını ortaya koymaktadır. Bununla birlikte özellikle sahanın mevcut topoğrafik konumu ve jeolojik özellikleri dikkate alındığında, patlatmalar sırasında taş fırlamaları ve kaya düşme/ dökülmeleri şeklinde hareketlerin olabileceği görülmektedir. Bu anlamda ocak sahasının kuzeyinde yer alan ve faylanma ile oluşmuş dik topoğrafyaya sahip alan içerisinde patlatma ile yerinden sökülerek harekete geçebilecek kayaların var olduğu belirlenmiştir. Köyü etkileyebilecek esas hareketin, patlatma yapılmayan kuzey yamaçta ve titreşimlere bağlı kaya sökülmeleri ile oluşacak kaya düşmeleri şeklinde meydana geleceği öngörülmüştür (Şekil 3).

Arazi incelemeleri sırasında, eski tarihlerde yapılan işletme faaliyetleri sırasında, sahasının kuzey yamacından koparak düşmüş ve köye yakın noktalara kadar ulaşmış çeşitli kaya bloklarının olduğu görülmektedir (Şekil 4). Bu açıdan

sahanın Aşağıdağdere Mahallesi tarafına bakan ve kısıtlı bir alan içerisinde yer alan bölümünün kaya düşmesi riski açısından değerlendirilmesi gerekmiştir.

Şekil 3. Ocakta patlatmalara bağlı olarak oluşabilecek kaya hareket yönleri ve türlerinin tanımlanması (Çobanoğlu, 2019).

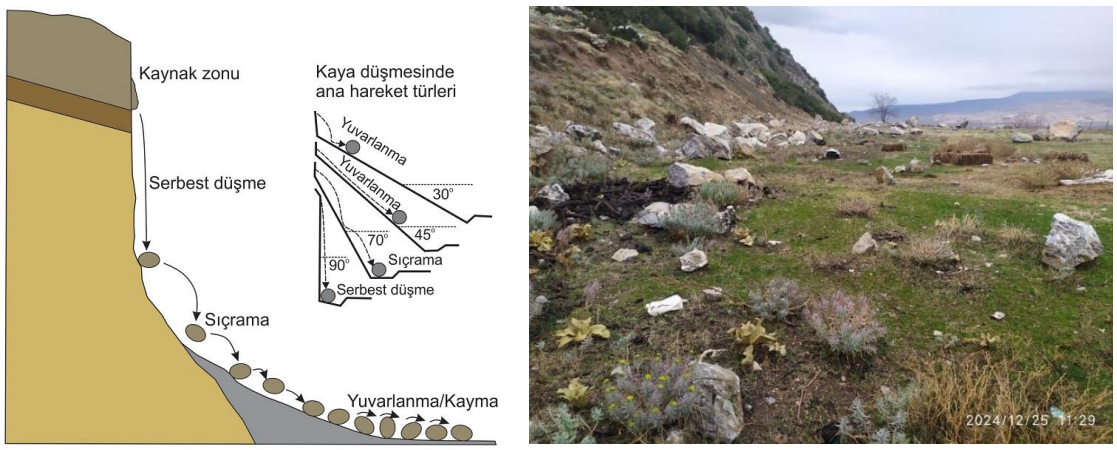
Şekil 4. Eski işletme faaliyetleri sırasında ocağın kuzey yamacından sökülerek düşen ve düzlük alanda birikmiş olan kaya bloklarından görünümler.

Kaya düşmeleri ve buna bağlı oluşabilecek olumsuz durumların değerlendirilebilmesi amacıyla AFAD tarafından da yayınlanmış bir teknik kılavuz

bulunmaktadır (Afad, 2020). Bu kaynak, hem kaya düşmesine bağlı oluşacak kütle hareketlerinin türlerini, bu hareketlerin belirlenmesine yönelik analizleri ve hem de değerlendirme ve önlem ilkelerini ortaya koymaktadır.

4.1. Kaya Düşmelerinde Hareket Türlerinin Tanımlanması

Kaya düşmesi, herhangi bir boyuttaki kaya bloğunun yeteri kadar dik olan bir yamaç veya şevden düşey yöndeki hareketi olarak tanımlanmaktadır (Afad, 2020). Kaya düşmeleri sırasında topoğrafyanın eğimine bağlı olarak serbest düşme, sıçrama (zıplama), yuvarlanma şeklinde hareket türleri gözlenebilmektedir (Ritchie, 1963; Afad, 2020'den) (Şekil 5). Düşen kaya bloklarının enerjisini kaybetmesiyle bloğun yuvarlanma hareketi ile beraber blok kaymaları meydana gelmektedir. Kaya düşmelerinde tek bir blok düşebileceği gibi, birden fazla bloğun aynı anda düşmesi ile oluşan çoklu kaya düşme olayları da mevcuttur.

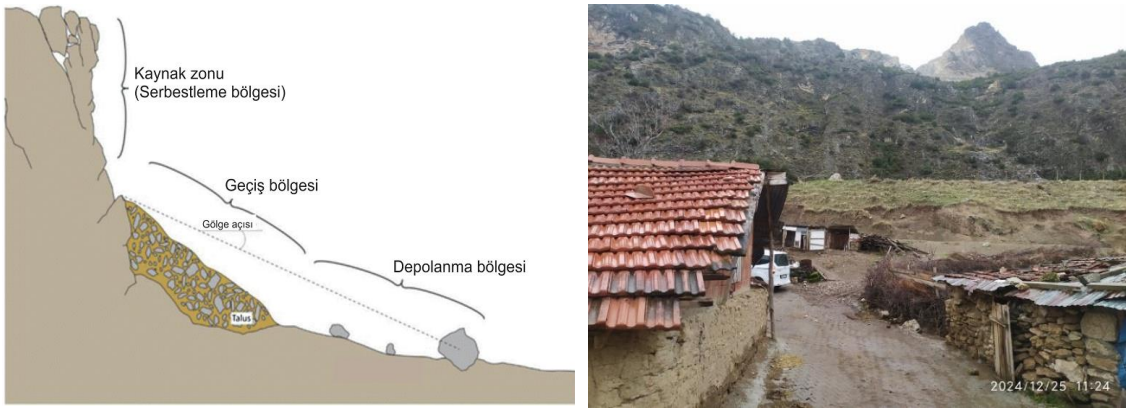


Şekil 5. Yamaç eğimine bağlı olarak kaya düşmelerinde gözlenen hareket türleri (solda) ve serbest düşme ve sıçrama ile yamaç eteğinde birikmiş kaya bloklarının görünümü.

Kaya düşmesinde yuvarlanma zonu olarak tanımlanan ve düşen kaya bloklarının topoğrafya ile daha çok temasta olduğu bölge, topoğrafyanın eğim değerlerine ve depolanma durumuna göre "geçiş bölgesi" ve "depolanma bölgesi

(durma bölgesi)" olarak iki ayrı zona ayrılabilmektedir (Evans ve Hungr, 1993; Afad, 2020'den). Geçiş bölgesinde daha küçük boyutlu ve karmaşık yapıdaki kaya malzemeleri ve ayrışma ürünleri birikmekte olup, depolanma bölgesi daha iri boyutlu ve yüksek enerjili blokların ulaşabildiği zon olarak sınıflandırılmaktadır (Şekil 6). Geçiş bölgesi her arazide gözlenmeyebilir ve yuvarlanan kaya blokları doğrudan depolanma bölgesinde birikebilir. İnceleme yapılan sahada da geçiş bölgesi bulunmamakta olup kısıtlı bir alan içerisinde (yamaç eteğindeki düzlük alan) depolanmış kaya bloklarının var olduğu görülmektedir

Kaya düşme risk ve potansiyeline sahip sahalarda, kaya düşme kaynak zonlarının belirlenmesi oldukça önemli olup, bunun için detaylı saha çalışmaları ve yerinde incelemeler ile incelenen sahaya ait hava fotoğrafları veya yüksek çözünürlüklü ortofoto görüntülerine ihtiyaç vardır. Kaya düşme davranışını kontrol eden en önemli iki parametrenin şev açısı ve şevi oluşturan malzeme olduğu bilinmektedir.



Şekil 6. Kaya düşmelerinde farklı depolanma bölgelerinin tanımlanması (solda) ve sahanın kuzey bölümünü oluşturan yamacın görünümü (sağda).

4.2. Kaya Düşme Analizleri

Kaya düşme analizleri, kaya düşme tehlikesinin ve potansiyelinin ortaya konulması amacıyla yapılan çalışmalardır. Bu analizler ile tehlikesinin

giderilmesi amacıyla potansiyel önleme ve koruma yöntemleri de değerlendirilmektedir. Kaya düşme analizlerinde ana amaç, hareket eden blokların yuvarlanma hatlarının ve yuvarlanma hareketi sırasında düşen bloğa ait hız ve enerji gibi parametrelerin belirlenmesidir.

Kaya düşme hat analizleri başlıca üç ana yöntem yardımıyla gerçekleştirilebilir (Afad, 2020).

a) Arazi Deneyleri

b) Ampirik (Görgül) Analizler

Enerji çizgi açısı yöntemi

Gölge açısı yöntemi

c) Kaya Düşmesi Modelleme Analizleri (Bilgisayar modellemeleri)

2 boyutlu analiz modelleri

3 boyutlu analiz modelleri

Kaya düşmelerinde bilgisayar modellemeleri, kaya düşme davranışının incelenmesinin yanı sıra, kaya düşmesi önlem projelerinin geliştirilmesi için gerekli olan parametrelerin (hız, enerji, sıçrama yüksekliği vb.) de belirlenmesine yardımcı olurlar. Bu yazılımlar ile çok sayıda kaya bloğu aynı anda düşürülerek kaya düşmeleri modellenebilmektedir. Kaya düşme modellemelerinde arazi incelemelerinden elde edilen veriler önemli yer tutmaktadır.

Kaya düşme modelleme analizleri ile başlıca aşağıdaki unsurlar belirlenmektedir.

a) Potansiyel kaya düşme hatları

b) Düşen blokların sıçrama yükseklikleri, hızları ve kinetik enerjileri

c) Kaya düşme tehlikesi altındaki alanların belirlenmesine yönelik maksimum yuvarlanma mesafeleri

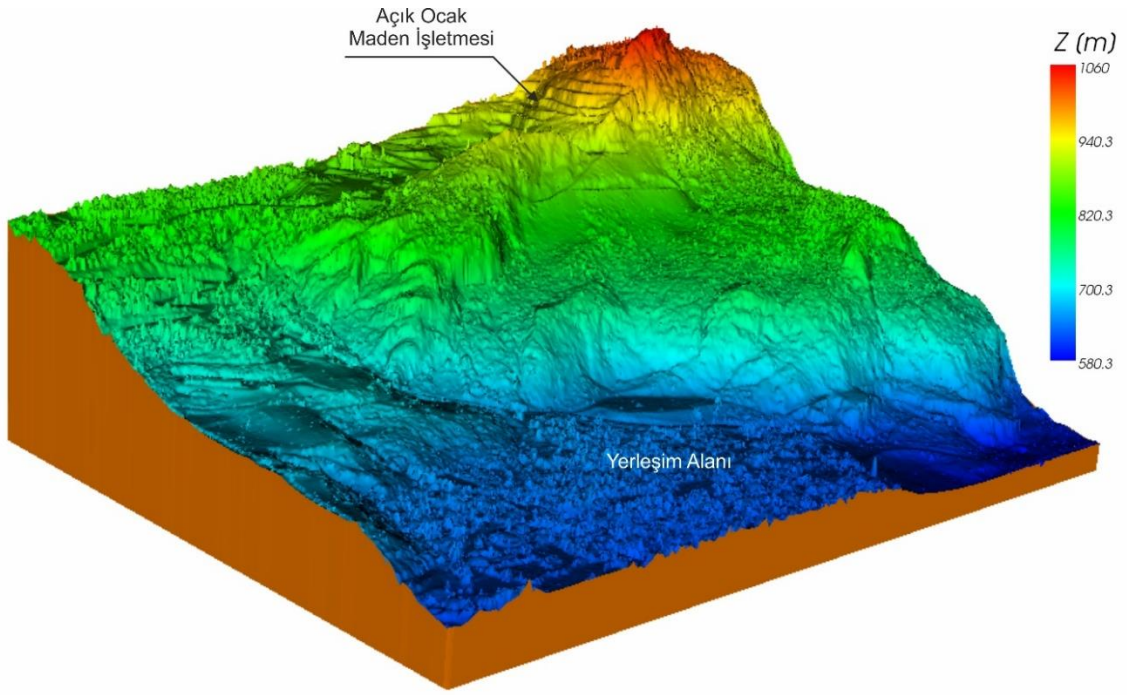
Bu çalışma kapsamında yapılan 3-boyutlu modellemelerle kaya düşme analizleri gerçekleştirilmiştir. 3-boyutlu kaya düşme analizlerinin gerçekçi sonuçlar verebilmesi için detay yüzey sayısal modellerinin oluşturulması

gerekmektedir. Bu amaçla yersel lazer tarama (TLS) yöntemi ile elde edilen 3-boyutlu nokta bulutları veya insansız hava araçları (İHA) ile alınan fotogrametrik görüntülerle elde edilen sayısal yüzey modelleri kullanılmaktadır. Bu çalışma kapsamında, drone ile sahanın orto-foto görüntüleri elde edilmiş ve nokta bulutu oluşturulmuştur.

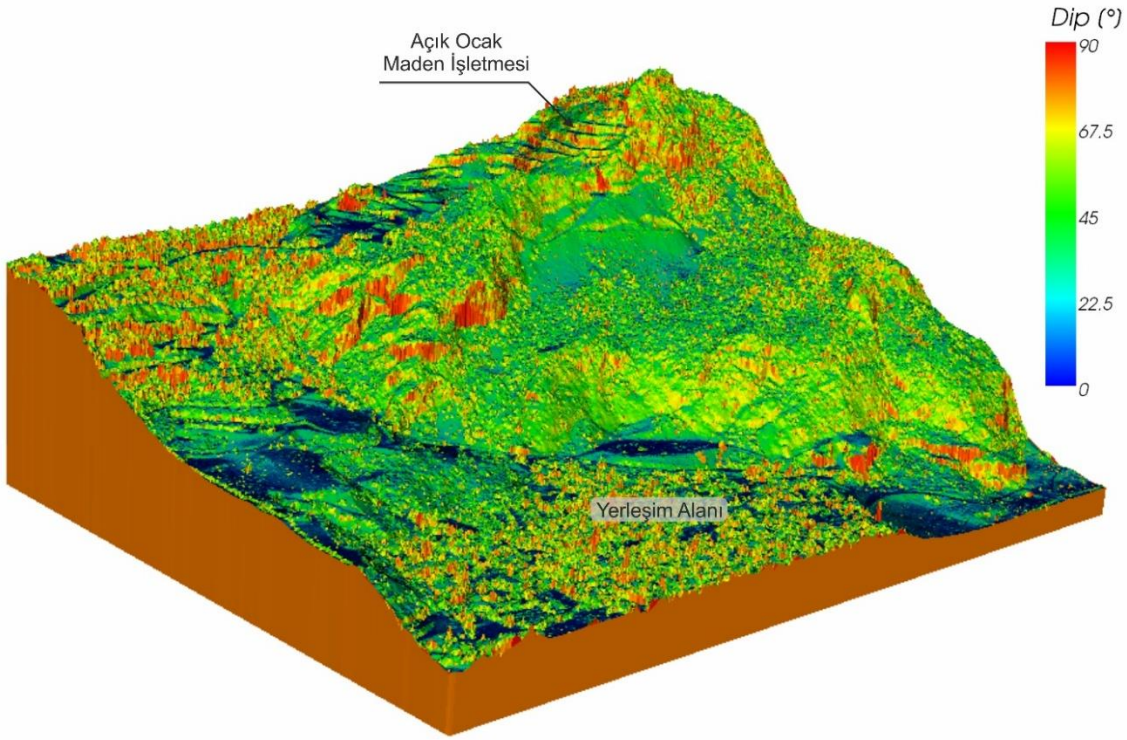
4.2.1. 3- Boyutlu Kaya Düşme Analizleri

3-boyutlu kaya düşme modellemeleri, kaya düşme hatlarını 3-boyutlu düzlem (x, y, z) üzerinde hesaplamaktadır. Bu nedenle, kaya düşme hattının x,y alanındaki yönelimiyle, düşen bloğun kinematiği, sıçrama yüksekliği ve pozisyonu arasında bağlantı bulunmaktadır. 3-boyutlu kaya düşmelerinin en önemli avantajı topoğrafyanın kaya düşme hatları üzerindeki yön değiştirici etkisinin modellere dâhil edilebilmesidir.

İnceleme alanında 3-boyutlu kaya düşme analizleri, insansız hava aracı (İHA) ile alınan ortofoto görüntülerinden ve fotogrametrik yöntemlerle elde edilen nokta bulutundan hazırlanan detay sayısal yüzey modeli üzerinde gerçekleştirilmiştir. RocPro3D yazılımında oluşturulan ve 3-boyutlu kaya düşme analizlerinin altlığını oluşturan sayısal yüzey modelinden üretilen düzensiz üçgen ağı (TIN) ve buna ait yükseklik modeli Şekil 7'de, arazi eğim modeli ise Şekil 8'de sunulmuştur. İnceleme alanındaki deniz seviyesinden yükseklik değerleri 580 ile 1060 m arasında değişmektedir. Arazi çalışmaları ile elde edilen veriler ve ortofoto görüntüsünden yararlanarak açık ocak maden işletmesinin kuzeyinde mostra veren kireçtaşı seviyeleri kaynak zon olarak belirlenmiştir. Arazi çalışmaları kapsamında maden işletmesinin kuzeyindeki yamaçlarında üç farklı kaynak zonu belirlenmiştir (Şekil 9).



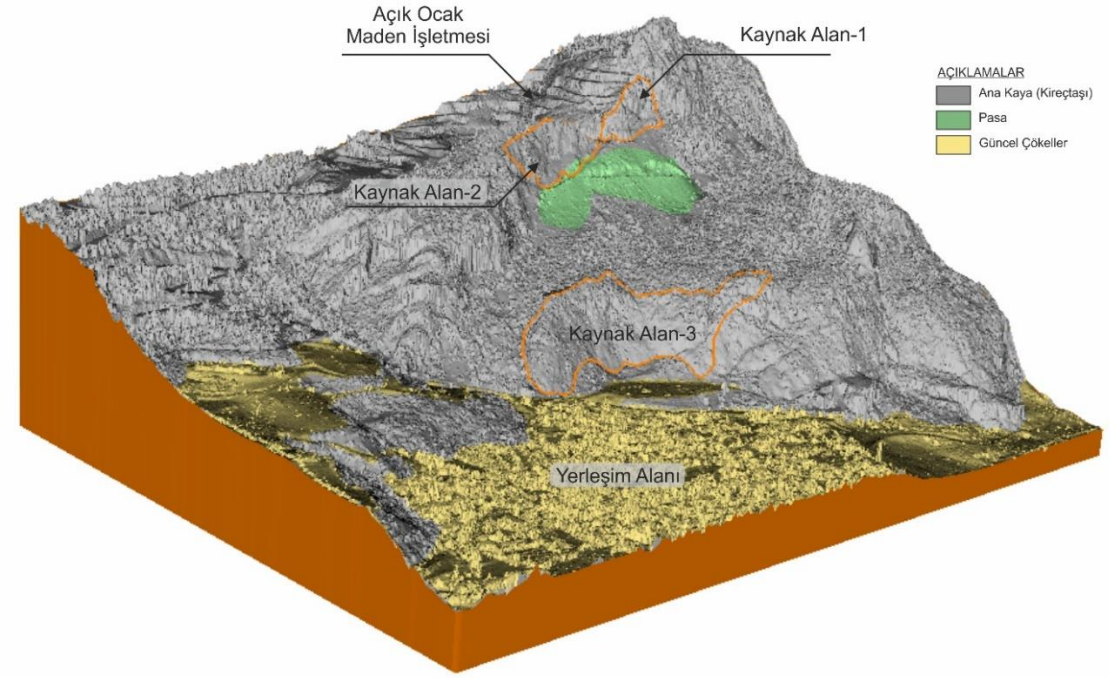
Şekil 7. İnceleme alanına ait sayısal yükseklik modeli.



Şekil 8. İnceleme alanına ait yüzey eğim modeli.

Literatür verilerine bağlı olarak inceleme alanı için gerçekleştirilen 3-boyutlu kaya düşme analizlerinde kullanılan geri verme ve sürtünme katsayıları

Çizelge 1'de özetlenmiştir. RocPro3D yazılımında inceleme alanı için sayısal yüzey modeli üzerinde gerçekleştirilen 3-boyutlu kaya düşme analizlerinde, düşebilecek blokların (kireçtaşı) birim hacim ağırlığı laboratuvar deney sonuçlarına göre 2600 kg/m^3 olarak belirlenmiştir. Analizlerde kaynak alan-1 için blok boyutu 1.50 m, kaynak alan-2 için blok boyutu 1.50 m, ve kaynak alan-3 için blok boyutu 0.75 m alınırken, her bir kaynak alandan 100 adet blok düşürülmüştür.



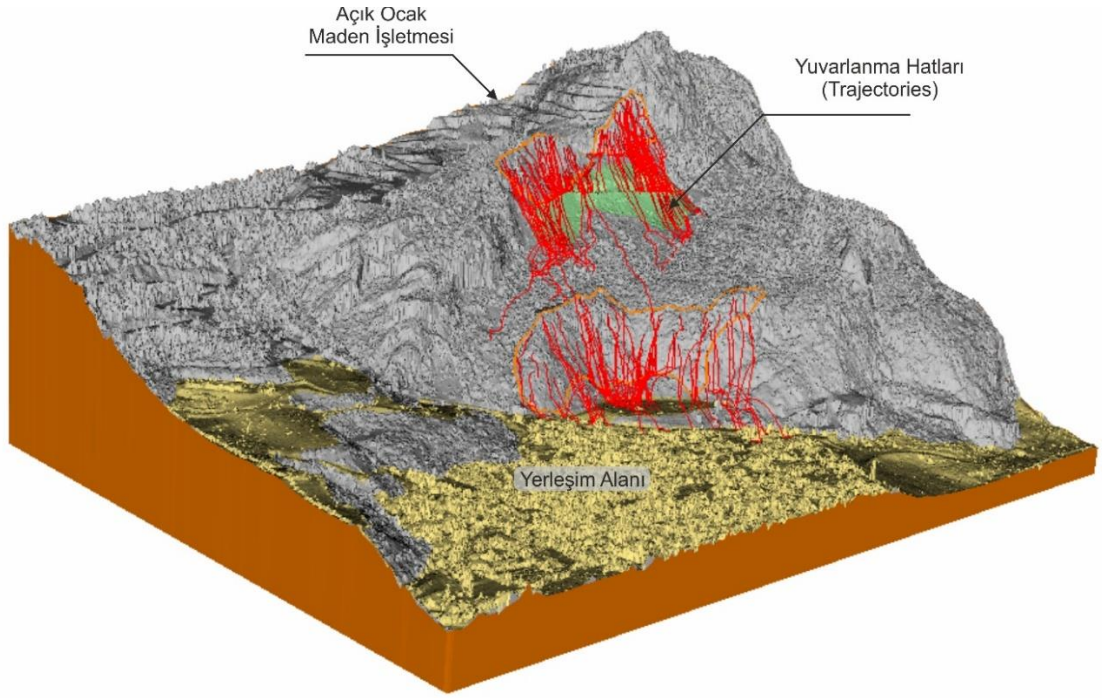
Şekil 9. Arazi çalışmaları kapsamında belirlenen kaya düşme kaynak alanlarının görünümü.

Çizelge 1. Kaya düşme analizleri için kullanılan tasarım parametrelerine ait değerler.

Birim	Normal geri verme katsayısı (Rn)	Tanjant geri verme katsayısı (Rt)	Sürtünme katsayısı (k)
Ana Kaya (Kireçtaşı)	0.55	0.85	0.45
Pasa	0.35	0.80	0.55
Güncel Birimler (Alüvyon)	0.30	0.80	0.60

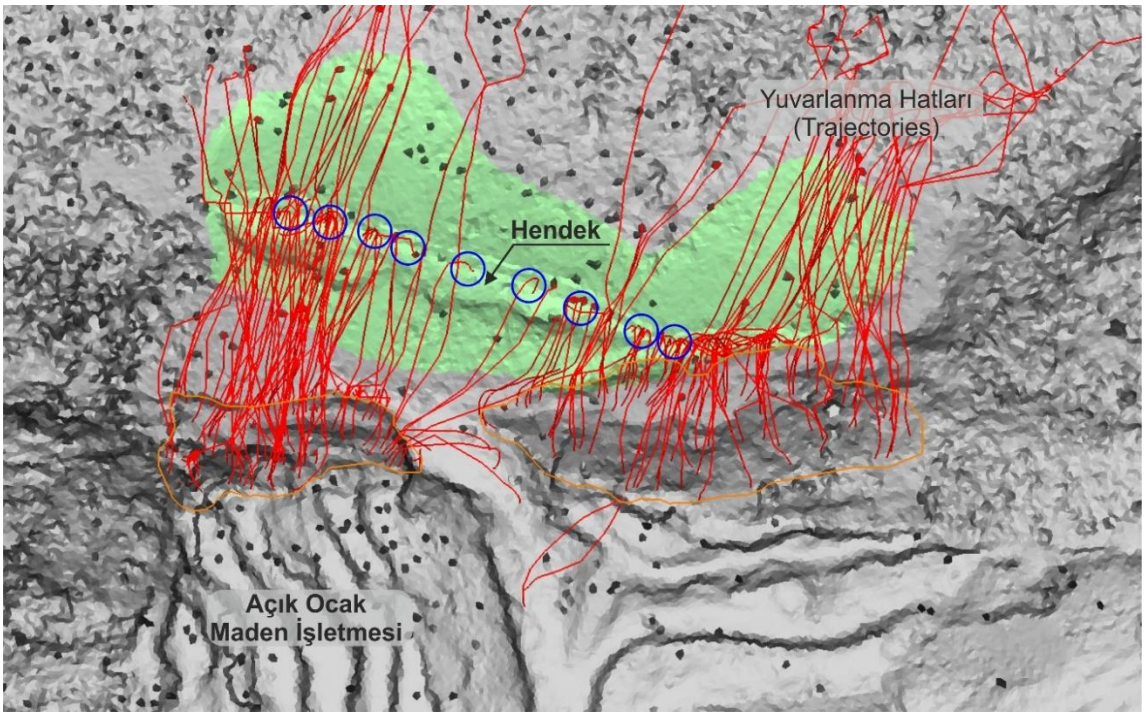
İHA (drone) ile elde edilmiş sayısal yüzey modeli üzerinde gerçekleştirilen 3-boyutlu kaya düşme analizleri sonucunda belirlenen kaya yuvarlanma hatları

Şekil 10'da sunulmuştur. Şekilde sunulan kaya düşme hatları (kırmızı hatlar) incelendiğinde, Kaynak-1 ve Kaynak-2'deki düşme potansiyeli olan blokların büyük bölümünün 775 m kotunun üzerinde durdukları görülmüştür. Kaynak-1'den düşecek bloklar yerleşim alanına ulaşmazken, Kaynak-2'den yuvarlanan 100 bloktan sadece bir tanesi yerleşim alanı sınırına ulaşmaktadır. Kaynak-1 ve 2'den düşecek bloklar Kaynak-3'e ulaştıklarında kinetik enerjilerini artırarak daha uzun mesafelere kadar ulaşmaktadır. Ancak bu durumunun 100 bloktan sadece 2 tanesinde gerçekleştiği görülmektedir. Buna göre, Kaynak-1 ve Kaynak-2'de meydana gelecek kaya düşmelerinin yerleşim alanına ulaşma olasılığı oldukça düşüktür. Bu durumun oluşmasında taş ocağının kuzey yamacında yaklaşık 860 m kotunda açılmış olan hendeğin önemli rolü olduğu görülmektedir. Şekil 11'de görüldüğü üzere Kaynak-1'den yuvarlanan blokların önemli bir bölümünün hendek tarafından tutulduğu, buna karşı hendeğin Kaynak-2'nin özellikle doğusundan düşen bloklar üzerinde etkili olmadığı görülmüştür.



Şekil 10. 3- boyutlu kaya düşme analizlerinden elde edilen kaya yuvarlanma hatları.

Bu çalışma kapsamında oluşturulan Kaynak-3, konum olarak 750 ile 660 m kotları arasında yer almakla birlikte, yerleşim alanındaki konutlara uzaklığı 40.0 ile 140.0 metre arasında değişmektedir. Söz konusu kaynak alanın doğu ve batı ucundaki yamaçlardan düşecek blokların konutları tehdit etme potansiyeli daha yüksek olabileceği için analizler kapsamına alınmıştır.



Şekil 11. Taş ocağının kuzeyinde açılmış olan bulunan hendeğin yuvarlanma hatlarına etkisi.

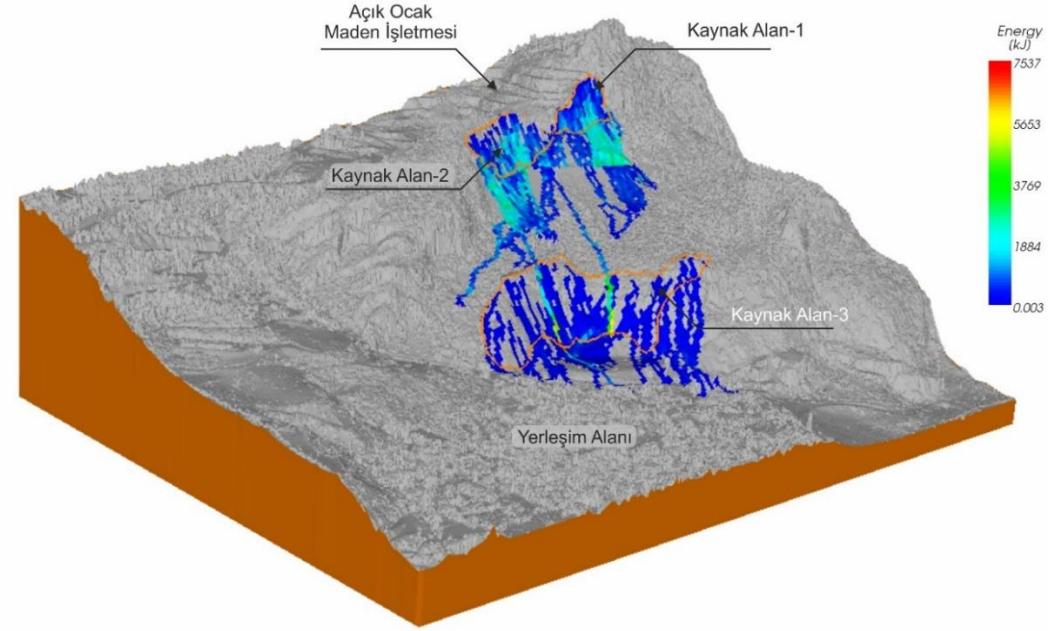
Kaynak alanın orta bölümünde bulunan ve daha gevşek çökellerden oluşan düz topoğrafya (yamaç eteği düzlüğü), düşen blokların hareketini sınırlandırma görevi de görmektedir. Bu düz alan içerisinde bulunan ve boyutları cm'den birkaç metreye kadar uzanan blokların varlığı analiz sonuçlarını destekler niteliktedir.

RocPro3D yazılımı ile gerçekleştirilen 3-boyutlu kaya düşme analizlerinde, düşen blokların sıçrama yükseklikleri ve toplam kinetik enerjileri de belirlenmiştir. Buna göre, her bir yuvarlanma hattı için hesaplanan sıçrama

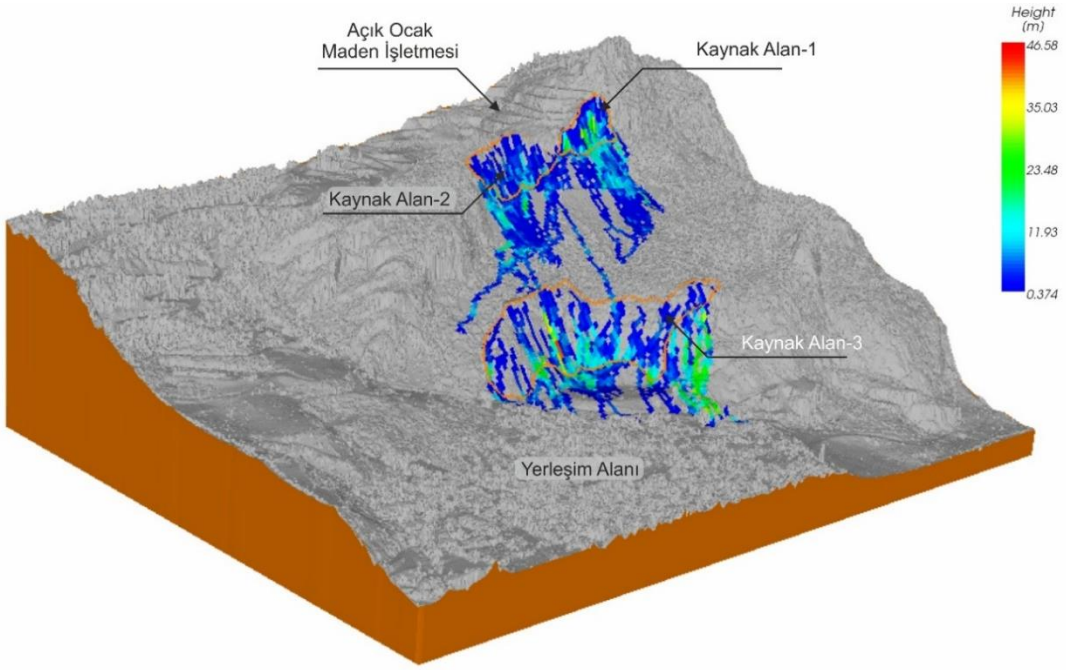
yüksekliği ve toplam kinetik enerji dağılımı yine 3 boyutlu model üzerinde sırasıyla Şekil 12, Şekil 13 ve Şekil 14'de sunulmuştur.

Kaynak-1 ve Kaynak-2 için ağırlıklı olarak 1000 ile 2000 kJ arasında enerji değerleri elde edilmiştir. Bu sonuç Kaynak-1 ve Kaynak-2'den düşebilecek blokların Kaynak-3 kotuna ulaşmadan durdurulmasının önemini göstermektedir.

Şekil 13'de sunulan model üzerinde yuvarlanan blokların topoğrafyaya çarpması sırasında oluşan sıçrama yükseklikleri incelendiğinde, bloklardaki sıçrama yüksekliğinin alan boyunca farklı dağılımlar gösterdiği göze çarpmaktadır.

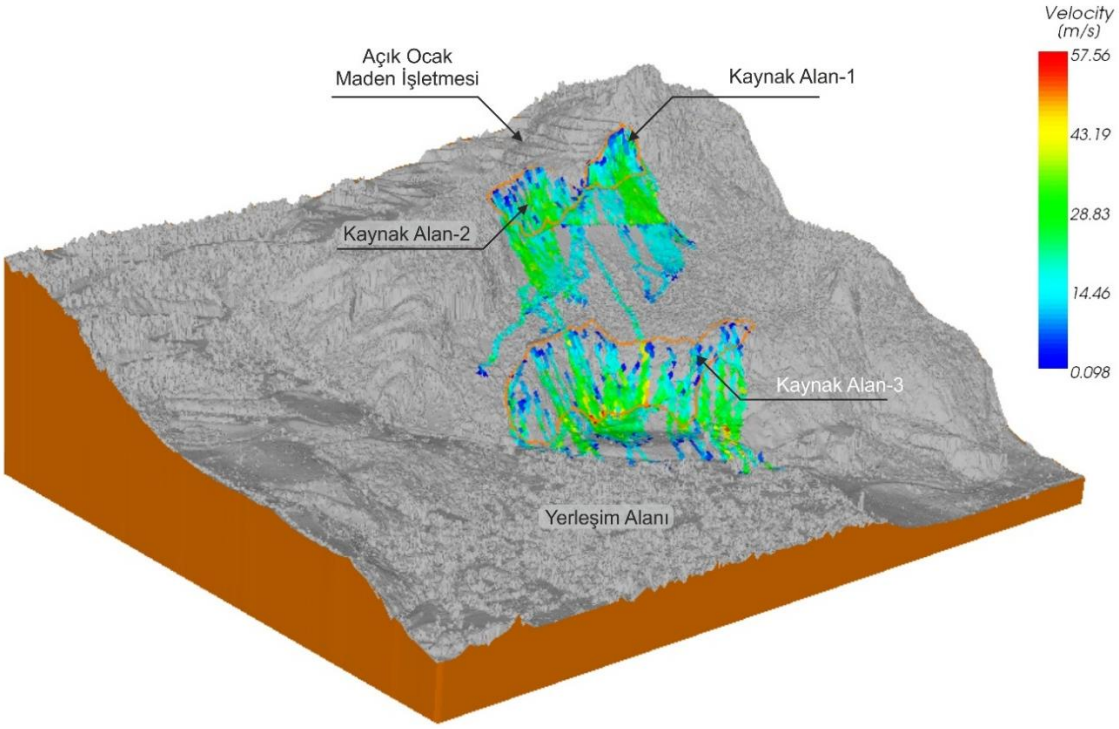


Şekil 12. 3-boyutlu kaya düşme analizlerinden elde edilen bloklara ait toplam kinetik enerji haritası.



Şekil 13. 3-boyutlu kaya düşme analizlerinden elde edilen kaya sıçrama yükseklikleri haritası.

Dik yamaçta düşen blokların serbest düşmesi sırasındaki sıçrama hareketi alan genelinde sıçrama yüksekliklerinin (bloğun orta noktası dahil) oldukça yüksek olmasına neden olmaktadır. Fakat bloğun ilk çarpmadan sonra inceleme alnındaki sıçrama değerlerinin ağırlıklı olarak 10.0 metrenin altında geliştiği görülmektedir. Kaynak-2'den hareketine başlayıp, Kaynak-3'e ulaşan bloklar, enerji seviyelerinde olduğu gibi sıçrama yüksekliklerinde de oldukça yüksek değerlere ulaşmaktadır. Bloklar sıçrama hareketinden yuvarlanma hareketine geçiş öncesi 3-5 metre arasında değişen sıçrama yükseklikleri sergilemektedir. Kaynak zondan kopan bloklar genel olarak sıçrama hareketi yapmaktadır. Bu hareket sırasında ötelenme hızları 57 m/sn kadar ulaştığı görülmekle birlikte, bu durumun üst kotlardaki kaynak alanlardan ayrılan ve Kaynak-3 seviyesine ulaşan sınırlı sayıdaki blok için geçerlidir. İncelenen yamaçta hakim ötelenme hızı 20 ile 30 m/sn arasında değişmektedir (Şekil 14).

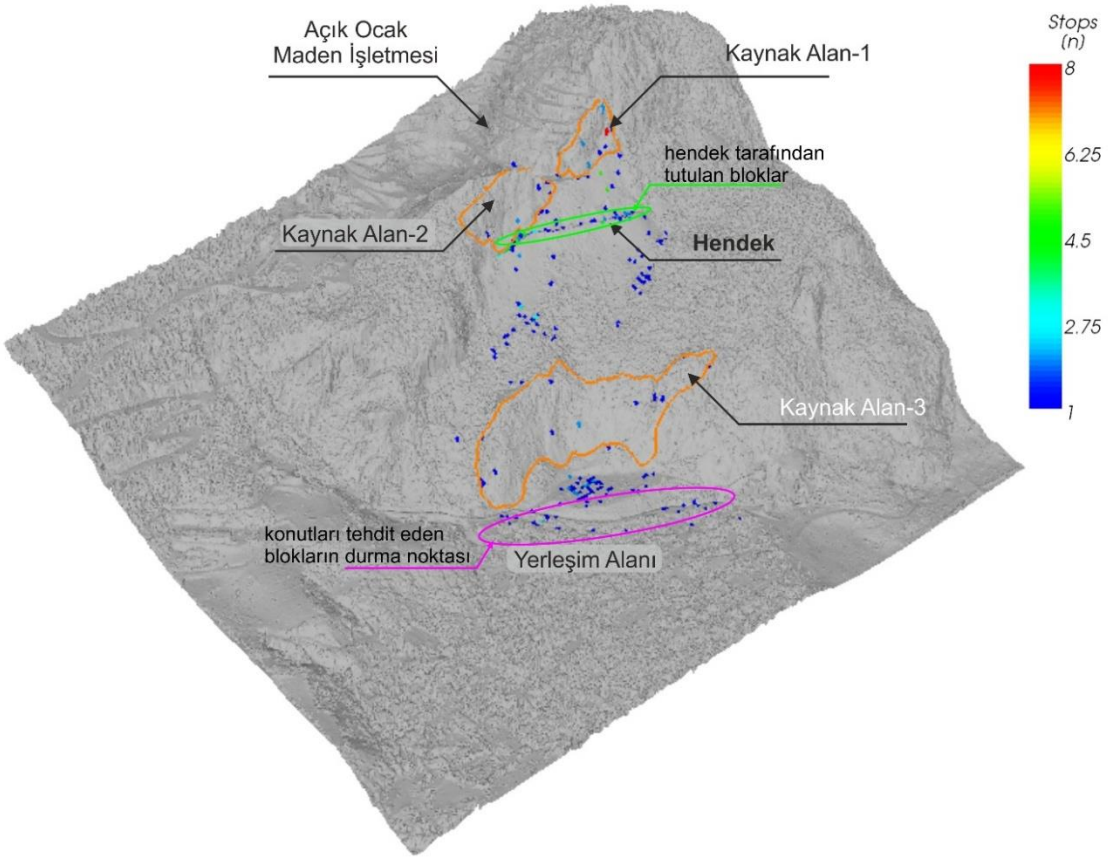


Şekil 14. 3-boyutlu kaya düşme analizlerinden elde edilen ötelenme hızları haritası.

Şekil 15'de kopan blokların eğim aşağısındaki yamaçlar boyunca durma noktaları gösterilmiş olup, buna göre düşen blokların bazıları yerleşim alanındaki konutların başladığı sınıra kadar ulaşabilmektedir. Yerleşim alanına ulaşan blokların tamamına yakını Kaynak-3'den ayrılan bloklar olup, sadece Kaynak-2'den modele dâhil edilen 100 bloktan 1 tanesi yerleşim alanına ulaşmıştır. Buna ek olarak taş ocağının kuzeyinde açılmış olan hendeğin Kaynak-1 ve Kaynak 2'den ayrılan blokları durdurmayı başardığı ve blokların hendek içerisinde durdukları açık bir şekilde görülmektedir. Şekil 15'de verilen durma noktaları haritası her bir pikselde duran blok sayısını işaret etmektedir. Bu açıdan bakıldığında birkaç noktada birden fazla bloğun bulunduğu görülmektedir. Özellikle Kaynak-3'ün doğusunda bir noktada ve orta bölümde bu durum söz konusudur.

RocPro3D, 3-boyutlu kaya düşme yazılımının en önemli avantajlarından biri de 3-boyutlu analizler ile belirlenen kaya düşme hatlarının 2-boyutlu kesitler

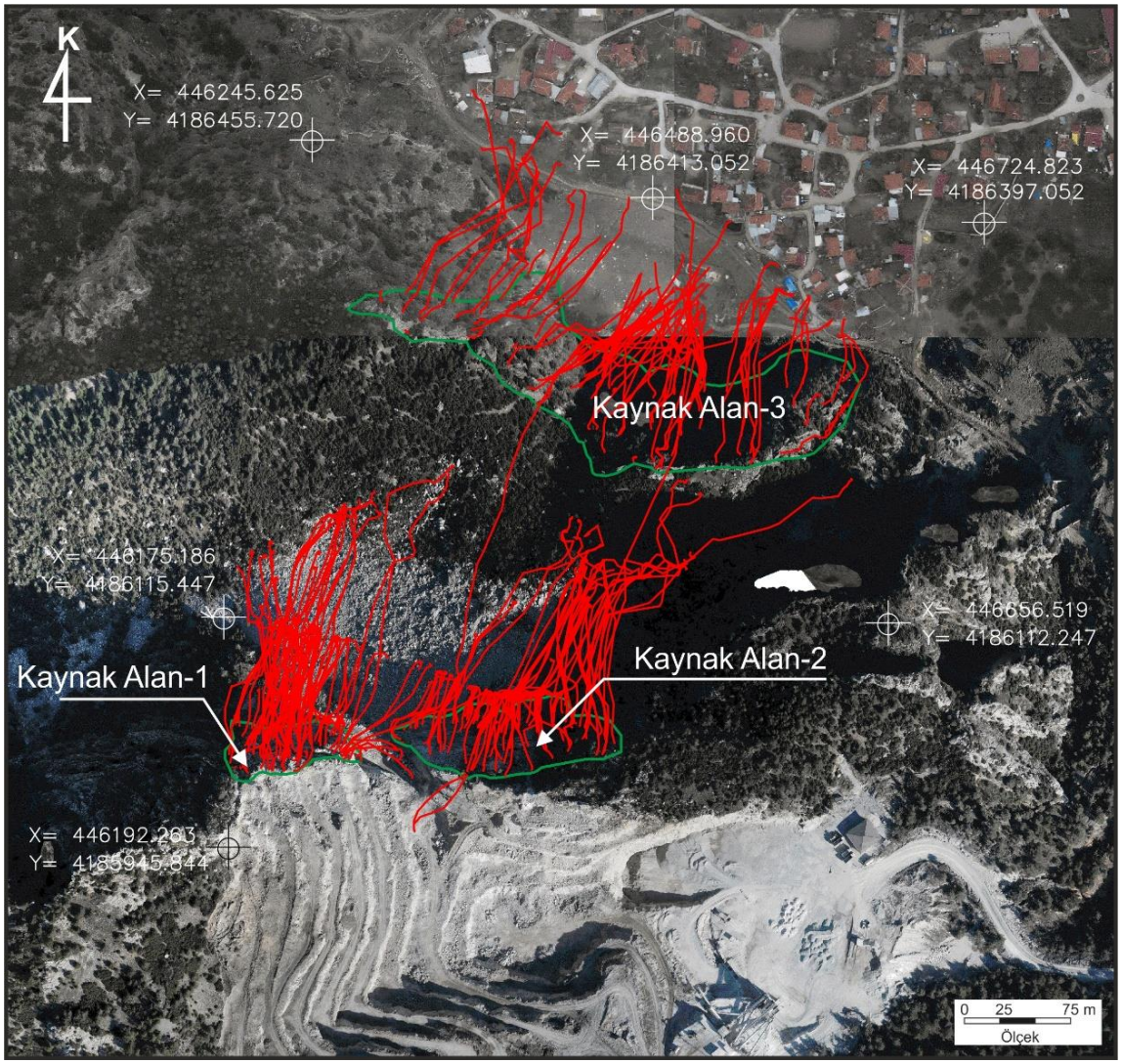
üzerinde incelenmesine olanak sağlamasıdır. Bu kesitler üzerinde, yuvarlanan blokların hareketleri sırasındaki sıçrama yüksekliği, kinetik enerji, yuvarlanma hızı vb. gibi özelliklerindeki değişim mesafeye bağlı olarak değerlendirilebilmektedir.



Şekil 15. 3-boyutlu kaya düşme analizlerinden elde edilen blokların durma noktaları.

Şekil 16'da 3-boyutlu kaya düşme analizlerinden elde edilen yuvarlanma hatlarının (kırmızı hatlar) ortofoto üzerinde gösterimi sunulmuştur. Buna göre, kırmataş ocağının kuzeyindeki yamaçta belirlenen kaynak alanlardan yuvarlanabilecek blokların büyük bir bölümü, yerleşim alanına ulaşmamaktadır. Kaynak-1'den ayrılan blokları büyük bölümü sahanın hemen kuzeyinde teşkil edilmiş olan hendek tarafından tutulmaktadır (Şekil 17). Söz konusu hendek Kaynak-2'den ayrılan blokların bir bölümünü tutmasına rağmen, özellikle kaynak

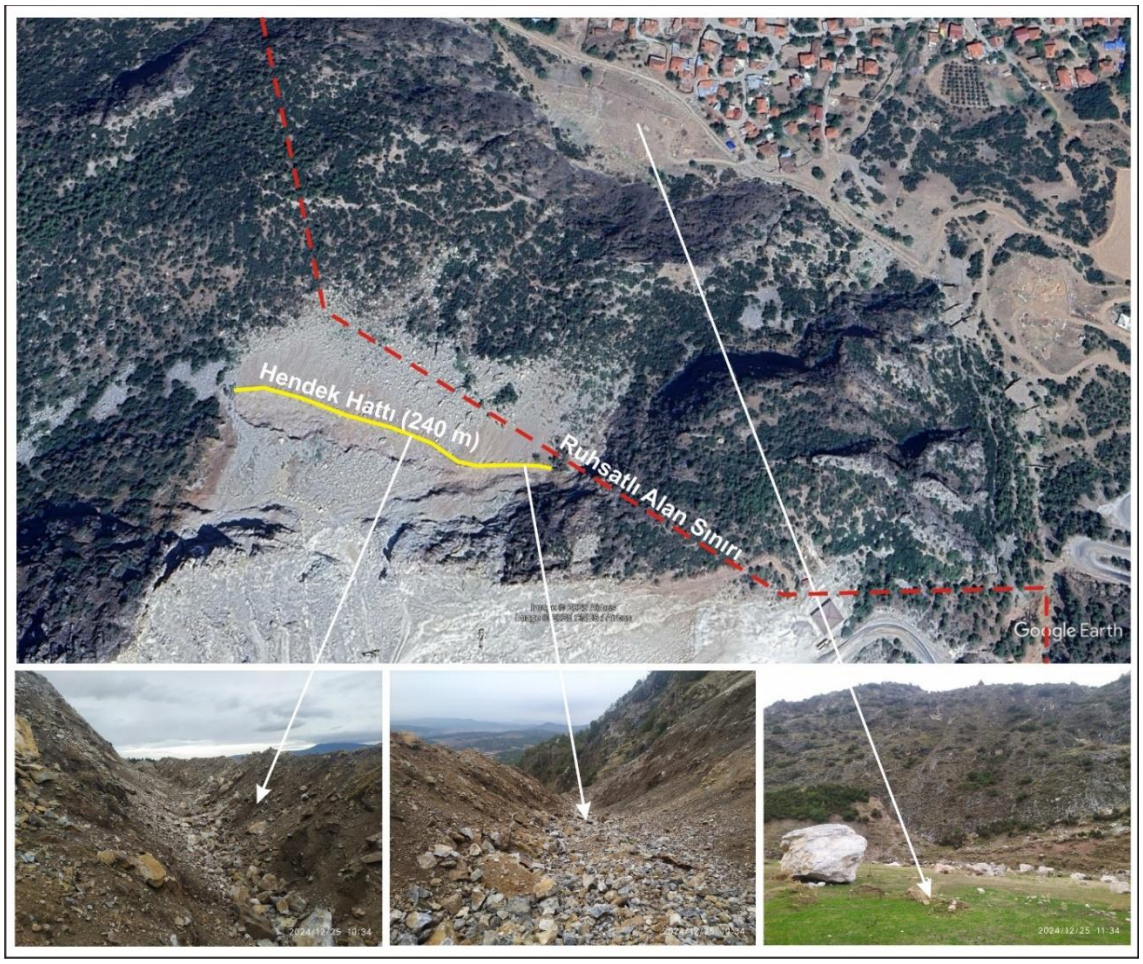
alanın doğusundan ayrılan bloklar üzerinde hendeğin etkili olmadığı görülmektedir. Dolaysıyla bu bölümden ayrılan az sayıda blok Kaynak-3 seviyesine ulaşarak enerjilerini artırmış ve yerleşim alanı sınırına kadar ulaşmıştır.



Şekil 16. 3-boyutlu kaya düşme analizlerinden elde edilen yuvarlanma hatlarının ortofoto üzerinde gösterimi.

Bu çalışma kapsamında elde edilen sonuçlar, taş ocağının kuzeyinde bulunan yamaçlardan ayrılan bir kısım blokların yerleşim alanı sınırına kadar ulaşabildiğini göstermektedir. Bundan dolayı öncelikle Kaynak-1 ve Kaynak-2'nin hemen kuzeyinde bulunan yaklaşık 5 m genişliğinde ve 3.0 m derinliğinde

açılmış olan hendeğin derinlik ve uzunluğunun artırılarak tutma kapasitesinin büyütülmesi değerlendirilmiştir. Zira açılmış olan bu hendek kaya düşme riskini engellemek açısından faydalı bir işlev göstermektedir. Bir diğer tedbir, Kaynak-3 ile yerleşim alanı arasındaki düzlükte (yamaç eteği düzlüğü) esnek bariyer (çelik çit sistemi) veya kaya tutma hendeği şeklinde bir diğer önlem yapısının oluşturulması şeklinde düşünülmüştür.



Şekil 17. Ocak kuzey yamacında teşkil edilmiş hendek ve köy üst kotunda yer alan yamaç eteği düzlüğü ile ruhsatlı alan sınırının görünümleri.

4.3. Kaya Düşme Riskine Karşı Önlemler ve Değerlendirmeler

Kaya düşmesi risklerine karşı alınabilecek çeşitli yöntemler ile potansiyel zararların önüne geçilmektedir. Bu amaçla geliştirilmiş birçok mühendislik

uygulaması bulunmaktadır. Bunların bir kısmı kaya kütlesinin güçlendirilmesini amaçlarken bir kısmı da düşme potansiyeli taşıyan blokların önceden temizlenmesi ve ortadan kaldırılmasını amaçlamaktadır. Bu konuda yapılan stabilizasyon önlemleri Çizelge 2'de sunulmuştur. Yapılması planlanan yöntemin uygunluğu doğrudan mevcut kaya kütlesi koşullarına göre değerlendirilmektedir. Bunun yanında saha koşullarının uygunluğu, yapım maliyeti ve çevresel etkiler de uygulamalarda etkili olmaktadır.

Çizelge 2. Kaya düşmesine karşı alınacak yöntemlerin sınıflandırılması (Wyllie ve Norrsish, 1996; AFAD, 2020'den).

Kaya Düşmesi Stabilizasyon Yöntemleri	
Kaya Kütlesinin Güçlendirilmesi	**Kontrollü Blok Temizliği**
1- Kaya bulonları	1- Traşlama
2- Kaya çivisi	2- Blok temizliği
3- Püskürtme beton	3- Patlatma
4- Payanda teşkili	4- Yeniden şevlendirme
5- Kablo ile sabitleme	
6- Ankrajlı çelik kafesler	
7- Drenaj önlemleri	

Ocak sahası kuzeyinde yer alan hendeğin kaya düşme riskini önlemede oldukça etkili olduğu yapılan analiz ve arazi incelemelerinde de net bir şekilde görülmektedir.

Bu çalışma kapsamında gerçekleştirilmiş değerlendirmeler ışığında, yamaç eteğindeki düzlük alandan atlayarak daha aşağıda ve köy yerleşim alanına taşınabilecek blokların hareketine engel olabilmek amacıyla bir esnek örme çit yapısının teşkil edilmesi önerilmektedir. Bu bölgede, 860 m kotunda yer alan hendek yapısına benzer bir diğer hendeğin de açılması düşünülmüş ve uygulamaya geçilmiştir.

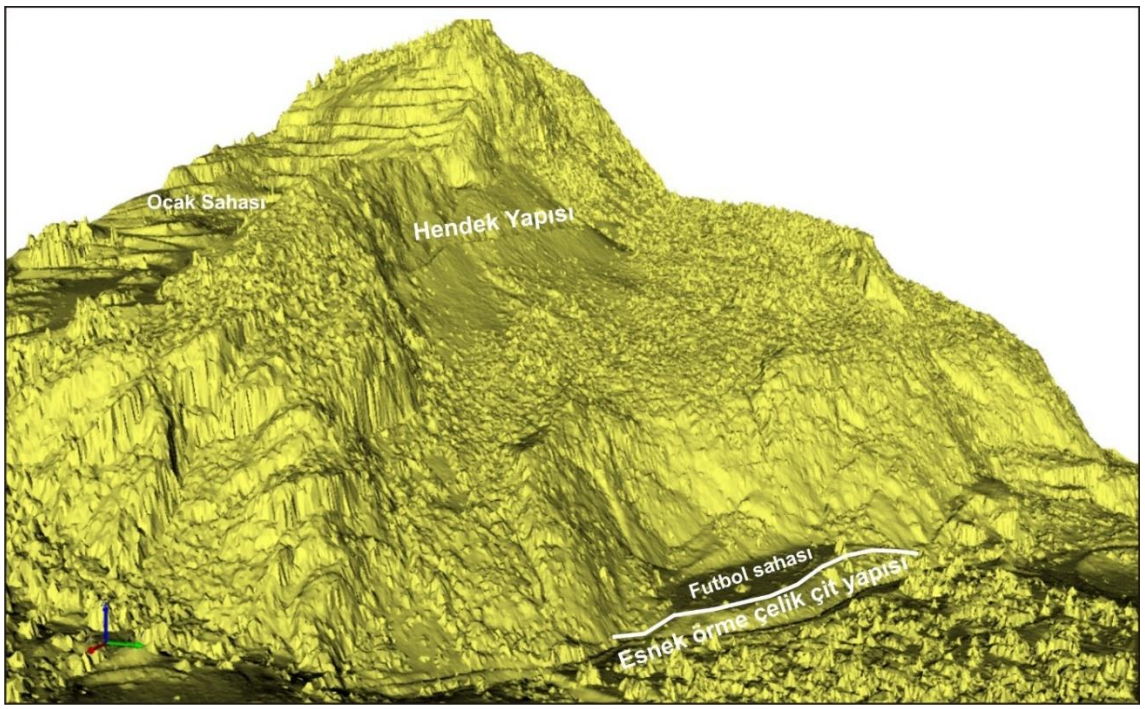
Kaya düşmelerinden korunma amacıyla yapılan çitler esnek yapılı ve yüksek mukavemetli çelik malzemelerden üretilirler. Bu tür yapılara ait örnek bir resim Şekil 18'de görülmektedir. Bu tür uygulamalarda, ağ sistemini tutmaya

yarayan çelik direkler birbirlerinden yaklaşık 8 ile 12 m aralığında yüksek enerji kapasiteli esnek bariyerlerde çelik direk açıklıkları 5-10 m arasında değişirken, düşük enerji kapasitesine sahip bariyerlerde bu açıklık 3 ile 5 m arasında değişmektedir (AFAD, 2020). Çelik direklerin üzerinde, ağın tutturulması amacıyla yerleştirilmiş köşebentler bulunmaktadır. Çelik direkler, ağ elemanlarını taşıyacak ve çarpma enerjilerini karşılayacak dayanımda olmaktadır. Bu direklerin yerleşim yerlerinin kaya düşme hattı üzerinde olmamasına özen gösterilir. Böylelikle düşen kaya bloklarının rijit özellikteki çelik direklere çarpmak yerine, esnek çelik ağlara çarpması sağlanmış olur.

Şekil 18. Kaya düşme riskine karşı oluşturulan çelik örme ağ sistemlerinden örnek görünümler.

Ocakta yapılacak üretim faaliyetlerinin köye olumsuz etkilerinin bertaraf edilmesi ve olası risklerin önüne geçilmesi amacıyla bu çalışma kapsamında önerilen esnek çit yapısının yaklaşık uzunluğu 310 m olarak belirlenmiştir (Şekil 19 ve Şekil 20). Bu hattın dışında kaya düşmelerinden etkilenebilecek alanların olmayacağı öngörülmektedir. Yapılan analizlerde blokların Kaynak-3'ün hemen kuzeyinde yer alan düzlüğe ilk temasından sonra sıçrama yüksekliği kritik değerlerinin 2.0 - 4.0 m arasında değiştiği belirlenmiştir. Bu bilgilere dayanarak esnek çit yapısının yüksekliğinin 4.0 m'den az olmaması gerekmektedir.

Şekil 19. Bu çalışma kapsamında yapılan analizler ile yeri belirlenmiş olan çelik örme çit yapısının konumu ve mevcut hendeğin görünümleri.



Şekil 20. Ocak geneli ile mevcut hendek yapısı ve önerilen çit yapısının konumlarını gösterir ve güncel durumu yansıtan 3D arazi modeli.

5. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Maden işletmelerindeki iş güvenliği amaçlı çalışmalar, sadece maden içinde değil aynı zamanda maden alanı dışındaki koşullar için de gereklilik göstermektedir. Bu çalışma, yüksek kotlarda ve dağlık bir alanda yer alan kırmataş ocağı içerisindeki üretim faaliyetlerinin daha alt kotlarda yer alan bir mahalleye olası olumsuz etkilerinin giderilmesi amacıyla yapılan çalışmaları sunmaktadır. Elde edilen sonuçlar, teknik ve bilimsel ilkeler ışığında yapılan çalışmaların potansiyel risklerin de ortadan kaldırılmasını sağladığını ortaya koymuştur.

Özellikle patlatmalı açık ocak işletmelerinde, potansiyel kaya düşmelerinin irdelenmesi ve değerlendirilmesi amacıyla yapılması gerekli çalışmalar emek ve zaman alıcıdır. Ancak elde edilen sonuçlar da tutarlı ve uygulanmaları ile oldukça efektif sonuçlar alınabilmektedir. Bu çalışmada da ortaya konulduğu gibi, patlatma alanlarının daraltılması, olası kaya hareketi yönünde hendek ve esnek örme çit yapılarının oluşturulması etkili çözümler sunan tedbirler olarak değerlendirilmektedir.

KAYNAKLAR

AFAD, 2020. Kaya Düşmelerinden Kaynaklı Afetlerin Değerlendirilmesine Yönelik Teknik Kılavuz, 169 s., Ankara.

Belland J.M., 1966. Structure as a Control in Rock Fragmentation, CIM; 59:323-8.

Çobanoğlu, İ., 2019. Çetin İnş. Malzemeleri San ve Tic. Ltd. Şti. Adına Ruhsatlı Saha (Honaz – Denizli) İçerisinde İşletilmekte Olan Taşocağına Ait Patlatma Etki Değerlendirme Raporu, Pamukkale Ünv. Müh. Fak. Dekanlığı Döner Sermaye Projesi, 33 s., Denizli.

Özkahraman, H.T., Bilgin, H.A., 1996. 2. Delme ve Patlatma Sempozyumu, Bildiriler Kitabı, s.151-157, Maden Mühendisleri Odası Yayını, Ankara.

RocPro3D, 2014. RocPro3D software. http://www.rocpro3d.com/rocpro3d_en.php

Singh, D.P., Sastry, R.V., 1986. Influence of the structural discontinuites on roc fragmentation by blasting, Int. Symp. Intense Dynamic Loading and Its Effects, Beijing, China.

PATLAMADAN KORUNMA DOKÜMANI: TARİHSEL GELİŞİMİ VE ULUSLARARASI MEVZUATTAKİ KARŞILIĞI–"DAVY LAMBASINDAN YAPAY ZEKA DESTEKLİ SİSTEMLERE: GÜVENLİK TEKNOLOJİLERİNDE EVRİMSEL BİR YAKLAŞIM"

EXPLOSION PROTECTION DOCUMENT: HISTORICAL DEVELOPMENT AND ITS CORRESPONDENCE IN INTERNATIONAL LEGISLATION–"FROM THE DAVY LAMP TO AI-SUPPORTED SYSTEMS: AN EVOLUTIONARY APPROACH IN SAFETY TECHNOLOGIES"

Jülide Demirören
Gülport Liman Hizmetleri A.Ş.

Mehmet Ali Demirören
Güllük Mandalya Turizm ve Liman Hizmetleri A.Ş.

ÖZET: Patlayıcı ortamlar, endüstriyel iş yerlerinde çalışanların sağlığı ve güvenliği açısından ciddi güvenlik riskleri oluşturur. Bu risklerin yönetimi, ulusal ve uluslararası düzeyde özel düzenlemeler gerektirir. İş bu riskleri yönetmek ve patlamaların önlenmesini sağlamak amacıyla dünya genelinde çeşitli düzenlemeler geliştirilmiştir. Türkiye'de "Patlamadan Korunma Dokümanı" (PKD), çalışanların patlayıcı ortamlardan korunması için hazırlanan temel belgelerden biri olup patlayıcı ortamların tanımlanması ve kontrolü için geliştirilmiş temel bir araçtır. Bu belge, yalnızca bir yasal zorunluluk değil, aynı zamanda iş yerlerinin güvenlik stratejilerini şekillendiren bir rehber niteliğindedir. Bu çalışma, PKD'nin Türkiye'deki oluşum sürecini tarihsel bir bakış açısıyla ele alarak, uluslararası düzenlemelerle birlikte karşılaştırmalı bir inceleme sunmaktadır. Avrupa Birliği'nin patlayıcı ortam yönetmelikleri, Amerika Birleşik Devletleri'nin proses güvenliği yaklaşımları ve diğer ülkelerin sistemleriyle kıyaslama yapılarak, PKD'nin gelişim aşamaları ve küresel bağlamdaki yeri ortaya konmuştur. Sonuçlar, Türkiye'de bu belgenin daha etkili hale gelmesi için teknik kapasitenin ve yasal çerçevenin güçlendirilmesi gerektiğini göstermektedir.

Anahtar Kelimeler: Patlamadan Korunma Dokümanı, Patlayıcı Ortam, İş Güvenliği, Türkiye, Uluslararası Düzenlemeler

ABSTRACT: *Explosive atmospheres pose significant safety risks to the health and safety of workers in industrial workplaces. Managing these risks requires specific regulations at both national and international levels. To address these risks and prevent explosions, various regulations have been developed worldwide. In Türkiye, the "Explosion Protection Document" (EPD) is one of the fundamental documents prepared to protect workers from explosive atmospheres, serving as a key tool for identifying and controlling such environments. This document is not only a legal requirement but also a guiding framework that shapes workplace safety strategies. This study examines the formation process of the EPD in Türkiye from a historical perspective, offering a comparative analysis with international regulations. By comparing the European Union's explosive atmosphere directives, the United States' process safety approaches, and systems in other countries, the developmental stages of the EPD and its place in the global context are elucidated. The findings indicate that enhancing technical capacity and strengthening the legal framework are necessary to make the EPD more effective in Türkiye.*

Keywords: *Explosion Protection Document, Explosive Atmosphere, Occupational Safety, Türkiye, International Regulations*

1. GİRİŞ

Patlayıcı ortamlar, yanıcı maddelerin hava ile birleşerek tutuşma potansiyeli taşıdığı alanlardır ve bu durum, endüstriyel faaliyetlerde ciddi tehlikeler yaratmaktadır. Endüstriyel patlamalar, yanıcı gazlar, tozlar veya buharların uygun koşullarda tutuşmasıyla meydana gelmekte ve hem insan hayatını hem de ekonomik varlıkları tehdit etmektedir. Dünya genelinde bu risklerin yönetimi için geliştirilen düzenlemeler, patlayıcı ortamların sistematik bir şekilde analiz edilmesini ve önlenmesini amaçlamaktadır. Türkiye'de bu risklerin kontrol altına alınması için geliştirilen PKD, iş yerlerinin güvenliğini sağlamak adına önemli bir adımdır. Bu belge, patlama olasılıklarının analiz edilmesini, riskli bölgelerin sınıflandırılmasını ve koruyucu önlemlerin planlanmasını içermektedir. Bu sistem, işletmelerin yalnızca çalışanlarını korumakla kalmayıp, aynı zamanda uzun vadeli güvenlik politikalarını da oluşturmasına olanak tanımaktadır.

Türkiye'de PKD, bu bağlamda İş Sağlığı ve Güvenliği politikalarının

önemli bir unsuru olarak ortaya çıkmıştır (İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, "Patlayıcı Ortamların Yönetimi," Ankara, 2022).

Bu bildiri, PKD'nin Türkiye'deki tarihsel gelişimini kronolojik bir perspektifle ele alarak, uluslararası mevzuattaki karşılıklarını detaylı bir şekilde incelemektedir. Amaç, PKD'nin evrimini tarihsel olaylarla bağdaştırarak, küresel standartlarla uyumunu değerlendirmektir.

Patlayıcı ortamların yönetimi, yalnızca teknik bir mesele değil, aynı zamanda toplumsal ve yasal bir sorumluluktur. Türkiye'de bu alandaki çabalar, endüstriyel kazaların acı dersleriyle şekillenmiş ve uluslararası iş birlikleriyle güçlenmiştir. Bu bildiri, PKD'nin oluşumunu tarihsel olaylarla ilişkilendirerek, Avrupa, Amerika ve diğer bölgelerdeki düzenlemelerle karşılaştırmalı bir analiz sunacak ve Türkiye'deki mevcut durumu geliştirmeye yönelik öneriler getirecektir.

Maden İşletmelerinde Sağlık ve Güvenlik Dokümanı (SGD) ise, 19 Eylül 2013 tarihli ve 28770 sayılı Resmî Gazetede yayımlanan "Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği" ile zorunlu hale getirilmiştir. Bu yönetmelik, 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'na dayanır ve maden iş yerlerine özgü riskleri kapsar. Sağlık ve Güvenlik Dokümanı (SGD) Madde 5/2 (a): İşveren, maden iş yerlerinde iş sağlığı ve güvenliği ile ilgili tüm riskleri değerlendiren ve önlemleri içeren bir Sağlık ve Güvenlik Dokümanı hazırlamak zorundadır. PKD, sadece patlayıcı ortamların risklerine odaklanır. Patlama riskinin değerlendirilmesi, tehlikeli bölgelerin sınıflandırılması (Zone 0, 1, 2 gibi) ve patlamadan korunma önlemlerini içerirken, SGD ise daha geniş bir kapsama sahiptir ve patlama riski dahil olmak üzere maden işletmesindeki tüm iş sağlığı ve güvenliği risklerini kapsamaktadır (örneğin, göçük, havalandırma, meslek hastalıkları).

2. PATLAMADAN KORUNMA DOKÜMANININ TARİHSEL GELİŞİMİ: TÜRKİYE PERSPEKTİFİ

2.1. Erken Dönem: Endüstriyel Risklerin Farkındalığı (1970'ler-1990'lar)

Türkiye'de patlayıcı ortamlarla ilgili ilk bilinç, 1960'lı ve 1970'li yıllarda madencilik sektöründe yaşanan dramatik olaylarla ortaya çıktı. Kömür madenlerinde biriken yanıcı gazların neden olduğu patlamalar, çok sayıda madencinin hayatını kaybetmesine yol açtı. Bu tür trajediler, güvenlik anlayışının yalnızca yüzeysel önlemlerle sınırlı kalamayacağını acı bir şekilde öğretti.

Bu dönemde, madenlerdeki güvenlik önlemleri genellikle temel havalandırma sistemleri ve sınırlı denetimlerle sağlanmaya çalışılıyordu. Ancak bu çabalar, patlayıcı ortamların karmaşık doğasını anlamaktan ve onları sistematik bir şekilde kontrol etmekten hayli uzaktı. Genellikle de yalnızca genel iş güvenliği kurallarıyla sınırlıydı (İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, "Patlayıcı Ortamların Yönetimi," Ankara, 2022).

Örneğin, 1974'teki Zonguldak maden patlaması, 43 madencinin ölümüne neden olmuş ve yanıcı gaz birikimlerinin kontrol edilmesi gerektiğini göstermiştir (MTA, "1974 Zonguldak Maden Kazası Raporu," 1975).

1980'lere gelindiğinde ise, Türkiye'nin sanayileşme hamlesi hız kazandı. Kimya tesisleri, petrol rafinerileri ve enerji üretim birimleri gibi yeni endüstriyel yapılar, patlama risklerini madenlerin ötesine taşıdı. Bu dönemde, patlayıcı ortamların yönetimi için özel bir sistem veya belge henüz tanımlanmamıştı. Güvenlik önlemleri, genellikle işletmelerin kendi inisiyatifine bırakılmıştı ve standart bir yaklaşım bulunmuyordu. Bu eksiklik hem çalışanların güvenliğini hem de tesislerin sürdürülebilirliğini riske atıyordu. Her ne kadar patlama riskleri daha geniş bir endüstriyel bağlamda tartışılmaya başlanmış olsa da 1988'de yürürlüğe giren "İş Sağlığı ve Güvenliği Tüzüğü," patlayıcı maddelerle çalışmayı düzenleyen ilk resmî belge olmuştu. Fakat kapsamı sınırlıydı ve PKD gibi spesifik bir araç tanımlanmamıştı (Resmî Gazete, "İş Sağlığı ve Güvenliği Tüzüğü," Sayı: 19785, 1988).

2.2. Avrupa Birliği Uyum Süreci ve İlk Adımlar (1999-2003)

1990'lı yıllar, Türkiye'nin Avrupa Birliği ile ilişkilerinin derinleştiği bir dönemdi. Avrupa'daki iş güvenliği standartlarına uyum sağlama çabaları, patlayıcı ortamların yönetimi konusunda yeni bir anlayışın kapılarını açtı. Türkiye'nin Avrupa Birliği'ne (AB) tam üyelik müzakereleri, 1999 Helsinki Zirvesi'yle hız kazanmış ve iş güvenliği mevzuatında reformları tetiklemiştir (Resmî Gazete, "Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Çalışanların Korunması Hakkında Yönetmelik," Sayı: 25328, 26 Aralık 2003). Bu süreçte, AB'nin 1999/92/EC (ATEX 137) Direktifi, Türkiye için bir model oluşturmuştur (TÜİK, "2000'ler Endüstriyel Güvenlik İstatistikleri," 2005). 2003 yılında, bu doğrultuda önemli bir adım atılmış ve patlayıcı ortamların tehlikelerine karşı çalışanları korumayı hedefleyen ilk resmi düzenleme yürürlüğe konmuştur. Bu düzenleme, iş yerlerinde patlama risklerinin belirlenmesini ve bu risklere karşı bir plan hazırlanmasını zorunlu hale getirmiştir. İşte bu noktada, Patlamadan Korunma Dokümanı (PKD) resmi bir kavram olarak hayat bulmuştur.

26 Aralık 2003'te Resmî Gazetede yayımlanan "Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Çalışanların Korunması Hakkında Yönetmelik," PKD'nin Türkiye'deki ilk yasal dayanağı olmuştur (Resmî Gazete, "6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu," Sayı: 28339, 20 Haziran 2012).

Yönetmelik, işverenlere şu yükümlülükleri getirmiştir:

- Patlayıcı ortamların tanımlanması ve risk analizi,
- Çalışma alanlarının zonlara ayrılması (Zone 0, 1, 2),
- Patlama riskine karşı teknik önlemlerin alınması (Resmî Gazete, "6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu," Sayı: 28339, 20 Haziran 2012).

Bu dönemde PKD, daha çok teorik bir gereklilik olarak kalmış; uygulamada ise yeterli teknik uzmanlık ve denetim kapasitesinin eksikliği göze çarpmıştır (Resmî Gazete, "Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik," Sayı: 28633, 30 Nisan 2013).

PKD'nin ilk versiyonu, işverenlere, çalışma alanlarını patlama potansiyeline göre değerlendirme ve bu alanları farklı tehlike seviyelerine göre sınıflandırma sorumluluğu vermiştir. Örneğin, sürekli patlayıcı ortamların bulunduğu alanlar en yüksek risk kategorisine alınırken, nadiren risk taşıyan bölgeler daha düşük bir risk seviyesi olarak tanımlanmıştır. Bu belge, aynı zamanda, patlama riskini azaltacak temel önlemlerin planlanmasını da içermiştir. Ancak, bu erken dönemde PKD'nin uygulanması sınırlı kalmıştır. Teknik uzmanlık eksikliği, denetim mekanizmalarının yetersizliği ve işletmelerdeki farkındalık düşüklüğü, belgenin etkinliğini kısıtlayan başlıca faktörler olmuştur.

2.3. 6331 Sayılı Kanun ve PKD'nin Modernizasyonu (2012-2023)

2010'lu yıllar, Türkiye'de iş güvenliği politikalarının köklü bir dönüşüm geçirdiği bir evre oldu. 2012'de kabul edilen kapsamlı bir iş sağlığı ve güvenliği yasası, PKD'nin rolünü yeniden tanımladı ve güçlendirdi.

2012'de kabul edilen 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, Türkiye'de iş güvenliği politikalarında bir dönüm noktasıdır (Resmî Gazete, "6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu," Sayı: 28339, 20 Haziran 2012). Bu kanun, risk temelli bir yaklaşıma geçişi sağlamış ve 30 Nisan 2013'te yayımlanan "Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik" ile PKD'nin kapsamı genişletilmiştir (Resmî Gazete, "Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik," Sayı: 28633, 30 Nisan 2013). Yeni kurallar, PKD'nin bir formaliteden öte, iş yerlerinde aktif bir risk yönetim aracı haline gelmesini hedeflemiştir. Belge, patlama risklerinin bilimsel yöntemlerle analiz edilmesini, çalışanların bu riskler konusunda eğitilmesini ve acil durum senaryolarının hazırlanmasını içerecek şekilde genişletilmiştir. Yeni yönetmelik, PKD'nin içeriğini şu şekilde detaylandırmıştır:

- Patlayıcı ortam oluşma olasılığının bilimsel analizi,

- Patlama riskini azaltacak organizasyonel önlemler,
- Belgenin düzenli güncellenmesi ve denetime hazır tutulması (Resmî Gazete, "Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik," Sayı: 28633, 30 Nisan 2013).

2010'lu yıllarda, Bakanlık denetimlerinin artmasıyla PKD'nin uygulaması yaygınlaşmıştır. 2015-2020 arasında yapılan incelemelerde, kimya ve enerji sektörlerindeki tesislerin %80'inde PKD bulunduğu, ancak %30'unda içerik eksiklikleri olduğu raporlanmıştır (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, "2015-2020 Denetim Raporları," 2021). Bu durum, belgenin hazırlanmasında standart bir metodolojinin eksikliğini ve eğitim ihtiyacını ortaya koymaktadır.

Günümüzde PKD, özellikle tehlikeli maddelerle çalışan sektörlerde (kimya, enerji, madencilik) yaygın bir şekilde kullanılmaktadır. Denetim birimleri, bu belgenin varlığını ve güncelliğini kontrol etmeye odaklanmıştır. Örneğin, bir tesisin PKD'si eksikse veya risk analizleri yeterince detaylı değilse, bu durum ciddi yaptırımlarla sonuçlanabilir. Ancak, belgenin hazırlanmasında hâlâ bazı zorluklar mevcuttur. İşletmeler arasında uygulama tutarlılığı sağlanamamış, teknik bilgi eksikliği devam etmiş ve PKD'nin hazırlanması genellikle yalnızca yasal bir zorunluluk olarak görülmüştür. Bu durum, belgenin potansiyelinin tam anlamıyla realize edilemediğini göstermektedir.

3. ULUSLARARASI MEVZUATTAKİ KARŞILIKLAR

3.1. Avrupa Birliği: ATEX Direktifleri ve Patlama Risk Yönetimi

Avrupa Birliği, patlayıcı ortamların kontrolü için iki temel düzenleme geliştirmiştir. Birincisi, çalışanların güvenliğini hedefleyen bir yönetmelik olup, iş yerlerinde patlama risklerinin kapsamlı bir şekilde analiz edilmesini ve bu risklere karşı bir belge hazırlanmasını şart koşmaktadır. Bu süreç, işletmelerin riskleri yalnızca tespit etmekle yetinmeyip, bunları önleyici bir yaklaşımla yönetmesini sağlamaktadır.

Bu belge, tehlikeli alanların farklı risk seviyelerine göre sınıflandırılmasını ve patlamayı önleyici sistemlerin tasarımını içermektedir. 1999/92/EC (ATEX 137) ve 2014/34/EU (ATEX 114) (European Commission, "Directive 1999/92/EC (ATEX 137)," Official Journal, 1999). ATEX 137, çalışanların korunmasına odaklanır ve "Explosion Protection Document" (EPD) hazırlanmasını zorunlu kılar. EPD'nin içeriği şunları kapsar;

- Patlayıcı ortamların fiziksel ve kimyasal analizle belirlenmesi,
- Riskli alanların zon sınıflandırması,
- Patlama önleme sistemlerinin tasarımı (örneğin, ex-proof ekipman) (European Commission, "Directive 2014/34/EU (ATEX 114)," Official Journal, 2014).

Diğeri olan ATEX 114 ise ekipmanların patlayıcı ortamlarda kullanımına yönelik teknik standartları düzenlemektedir ve IEC 60079 ile uyumludur (IEC 60079, "Explosive Atmospheres Standards," International Electrotechnical Commission, 2021). Örneğin, Almanya'da bu direktifler, Betriebssicherheitsverordnung (BetrSichV) ile ulusal düzeye taşınmış ve TÜV gibi kuruluşlarca denetlenmektedir (BetrSichV, "German Operational Safety Ordinance," Federal Law Gazette, 2015).

Avrupa'daki sistem, patlayıcı ortamların fiziksel ve kimyasal özelliklerine dayalı bir risk değerlendirmesi üzerine inşa edilmiştir. İşletmeler, bu belgeyi düzenli olarak güncelleyerek bağımsız denetim birimlerine sunmak zorundadır. Örneğin, bir kimya tesisinde yanıcı gazların birikebileceği alanlar detaylı bir şekilde haritalandırılır ve bu alanlarda patlamayı önleyecek özel ekipmanların kullanımı zorunlu tutulmaktadır. Bu yaklaşım, teknik standartlarla desteklenmiş ve üye ülkelerde tutarlı bir uygulama sağlamıştır. Avrupa'daki bu sistem, Türkiye'de PKD'nin oluşumunda önemli bir ilham kaynağı olmuştur.

3.2. Amerika Birleşik Devletleri: OSHA ve Proses Güvenliği

Amerika Birleşik Devletleri'nde patlayıcı ortamların yönetimi, daha geniş bir proses güvenliği çerçevesinde ele alınır. İş güvenliği otoritesi, tehlikeli maddelerle çalışan tesisler için bir dizi kural koymuştur. Bu kurallar, patlama risklerini proses tasarımından çalışan eğitimine kadar uzanan bir yelpazede değerlendirir. Avrupa'daki gibi özel bir belge zorunlu olmasa da işletmeler risk analizlerini ve güvenlik planlarını detaylı bir şekilde belgelendirmekle yükümlüdür.

Amerikan sistemi, patlama risklerini önlemek için teknolojik çözümleri ve proses yönetimini ön planda tutar. Örneğin, bir rafineride patlama riskini azaltmak için proseslerin her aşamasında güvenlik kontrolleri yapılır ve bu kontroller düzenli olarak raporlanır. Ayrıca, toz patlamalarına karşı ayrı bir standart geliştirilmiş ve bu tür risklerin kontrolü için özel yöntemler önerilmiştir. Bu yaklaşım, patlama risklerini yalnızca bir belgeyle sınırlamak yerine, işletmenin tüm işleyişine entegre etmeyi amaçlar. ABD'de patlayıcı ortamların yönetimi, Occupational Safety and Health Administration (OSHA) tarafından 29 CFR 1910.119 standartlarıyla "Process Safety Management" (PSM) çerçevesinde ele alınır (OSHA, "29 CFR 1910.119: Process Safety Management," U.S. Department of Labor, 2023. OSHA, "PSM Guidelines," 2022). PSM, patlayıcı ortam risklerini şu unsurlarla kontrol eder;

- Proses tehlike analizi (örneğin HAZOP yöntemi),
- Ekipmanların mekanik bütünlüğü
- Çalışanların eğitimi ve acil durum planları (NFPA, "NFPA 652: Standard on Combustible Dust," 2020).

PKD'ye tam bir eşdeğer olmasa da PSM patlama risklerini daha geniş bir proses güvenliği yaklaşımıyla ele alır. Ayrıca, NFPA 652 gibi standartlar, toz patlamalarına özel gereklilikler sunar.

3.3. Diğer Uluslararası Yaklaşımlar

Avustralya, patlayıcı ortamları tehlikeli alanlar olarak sınıflandıran bir sistem uygular ve bu alanlarda risklerin yönetilmesi için planlar hazırlanmasını şart koşar. Bu planlar, riskli bölgelerin analizini ve bu bölgelerde alınacak önlemleri içerir.

Avustralya: Work Health and Safety (WHS) yasaları, patlayıcı ortamların "Hazardous Area Classification" ile tanımlanmasını ve risk yönetim planlarının hazırlanmasını gerektirir (18. Safe Work Australia, "WHS Regulations," 2021). AS/NZS 60079 standartları, ATEX'e benzer bir teknik çerçeve sunar (AS/NZS 60079, "Explosive Atmospheres Standards," Standards Australia, 2020).

Japonya'da ise, endüstriyel güvenlik yasaları, patlayıcı ortamların teknik analizine dayalı bir kontrol mekanizması sunar ve işletmelerin bu riskleri minimize edecek sistemler kurmasını gerektirir.

Japonya: Industrial Safety and Health Act, patlayıcı ortamların kontrolünü Japanese Industrial Standards (JIS) ile düzenler ve risk analizini zorunlu kılar (Japanese Industrial Safety and Health Act, "JIS Regulations," 2021).

Gelişmekte Olan Ülkeler: Hindistan'da Factories Act 1948, patlayıcı maddelerle çalışmayı düzenler, fakat PKD benzeri bir belge genellikle uluslararası firmalar tarafından uygulanır (Government of India, "Factories Act 1948," Ministry of Labour, 2020).

3.4. Birleşik Krallık'ta RIDDOR ve PKD ile İlişkisi

Birleşik Krallık'ta uygulanan RIDDOR sistemi, iş yerlerinde patlama gibi tehlikeli olayların raporlanmasını zorunlu kılarak, bu verilerin merkezi bir platformda toplanmasını sağlar. Bu sistem, İSG uzmanlarının geçmiş olaylardan ders çıkararak güvenlik planlarını güçlendirmesine imkân verir. Türkiye'deki PKD ile benzer bir amacı paylaşan RIDDOR, patlayıcı ortam risklerinin analizini ve önlenmesini destekler. Ancak, RIDDOR'un aksine, PKD henüz ulusal çapta bir veri tabanına entegre değildir. Türkiye'de PKD'nin RIDDOR'dan esinlenerek,

patlama olaylarının ortak bir sistemde toplanması ve İSG uzmanlarının bu verilere erişmesi, risk yönetimini daha etkin hale getirebilir.

RIDDOR'un İşleyişi ve Ortak Alan Desteği; RIDDOR, iş yerlerinde şu tür olayların raporlanmasını zorunlu kılar:

- Ölümle sonuçlanan iş kazaları,
- Belirtilen ciddi yaralanmalar (örneğin kırıklar, amputasyonlar),
- 7 günden fazla iş göremezliğe yol açan yaralanmalar,
- Meslek hastalıkları (örneğin asbestoz),
- Tehlikeli olaylar (örneğin patlama riski taşıyan yakın kazalar).

Bu olaylar, HSE'nin online platformu üzerinden bir ortak veri tabanına yüklenir. İSG uzmanları, bu merkezi sistemden elde edilen verilere erişerek;

Risk Analizi: Sektörel risk trendlerini belirleyebilir ve kendi iş yerlerinde benzer olayları önlemek için stratejiler geliştirebilir.

Deneyim Paylaşımı: Diğer iş yerlerinden gelen raporlar, uzmanlara farklı senaryoları inceleme ve önlem alma fırsatı sunar.

Yasal Uyum: RIDDOR raporları, denetimlerde işletmelerin yasal yükümlülüklerini yerine getirdiğini kanıtlamak için kullanılır.

İSG Uzmanlarına Sağladığı Destek: Veri Odaklı Karar Alma; RIDDOR, İSG uzmanlarının kazaların nedenlerini ve sıklığını analiz ederek proaktif önlemler almasına olanak tanır. Örneğin, madenlerdeki patlama olaylarının raporları, gaz izleme sistemlerinin önemini vurgulayabilir.

Eğitim ve Farkındalık: Uzmanlar, bu verileri eğitim materyali olarak kullanarak çalışanları bilinçlendirebilir.

Politika Geliştirme: HSE, RIDDOR verilerini analiz ederek ulusal güvenlik politikalarını şekillendirir, bu da uzmanlara rehberlik eder.

4. DÜNYA'DA MEYDANA GELEN MADEN PATLAMALARI VE SONRASINDA OLUŞAN TEPKİLER

4.1. Avrupa'da Maden Patlamaları ve Sonrasında Oluşan Tepkiler

4.1.1. Oaks maden patlaması (İngiltere, 1866)

Tarih: 12 Aralık 1866, Yer: Barnsley, Yorkshire, İngiltere. Olay: Yanıcı gazların (firedamp) birikimi bir patlamaya yol açtı ve bu patlama kömür tozuyla şiddetlenerek 361 madencinin ölümüne neden oldu. Kurtarma ekiplerinden 20 kişi de sonraki patlamalarda hayatını kaybetti (Şekil 1).

Alınan Önlemler: Bu olay, madenlerde gaz birikimini önlemek için havalandırma sistemlerinin iyileştirilmesine yönelik acil bir farkındalık yarattı. Davy lambası gibi güvenli aydınlatma araçlarının kullanımı yaygınlaştırıldı ve 1872'de çıkarılan Kömür Madenleri Düzenleme Yasası ile maden denetimleri sıklaştırıldı.

Yasal ve İdari Sonuçlar: Olay sonrası işletmecilere karşı resmi bir dava açılmadı, ancak kamuoyu baskısı hükümeti maden güvenliği yasalarını gözden geçirmeye zorladı. İdari cezalar yerine, yeni düzenlemelerle önleme odaklı bir yaklaşım benimsendi.

4.1.2. Courrières maden felaketi (Fransa, 1906)

Tarih: 10 Mart 1906, Yer: Courrières, Kuzey Fransa. Olay: Bir yeraltı yangını metan gazını tutuşturdu ve kömür tozu patlamasıyla birleşerek 1099 madencinin ölümüne yol açtı. Avrupa tarihindeki en büyük maden faciası olarak kayıtlara geçti (Şekil 2).

Alınan Önlemler: Bu felaket, Avrupa'da patlayıcı gazların ve kömür tozunun kontrolüne yönelik daha katı kurallar getirilmesine neden oldu. Madenlerde düzenli gaz ölçümleri ve toz bastırma teknikleri (örneğin su püskürtme) standart hale geldi.

Yasal ve İdari Sonuçlar: İşletme yöneticileri ihmalle suçlandı, ancak dava

süreci sınırlı kaldı ve birkaç yöneticiye sembolik para cezaları (yaklaşık 50 frank) verildi. Bu, iş güvenliği yasalarının sertleştirilmesi için bir dönüm noktası oldu ve 1999'daki ATEX direktiflerinin temelini hazırladı.

Oaks ve Courrières faciaları, ATEX'in temelini oluşturan risk analizi ve belge zorunluluğunu tetikledi.

Şekil 1. Oaks maden patlamasının bir görüntüsü (İngiltere, 1866)

Şekil 2. Courrières maden felaketinden bir görüntü (Fransa, 1906)

4.2. Amerika'da Maden Patlamaları ve Sonrasında Oluşan Tepkiler

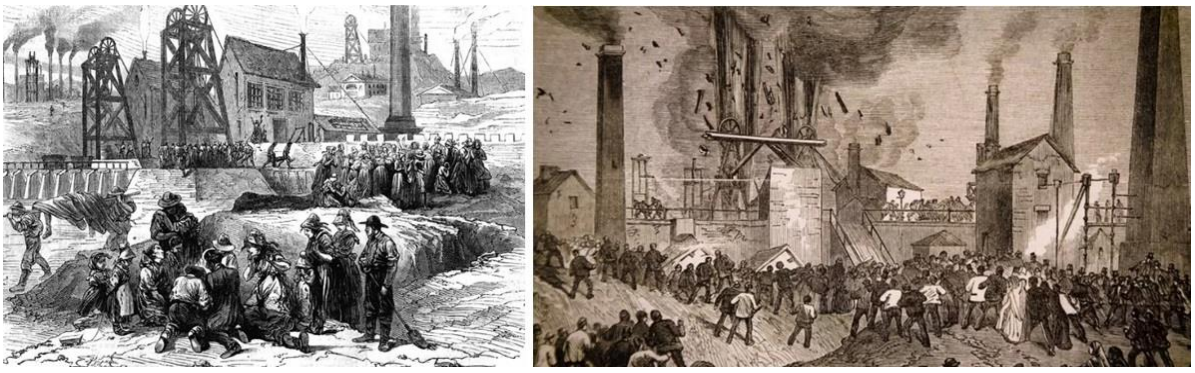
4.2.1. Monongah maden patlaması (ABD, 1907)

Tarih: 6 Aralık 1907, Yer: Monongah, Batı Virginia, ABD. Olay: Metan gazı ve kömür tozu patlaması 362 madencinin ölümüne neden oldu. ABD tarihindeki en ölümcül maden faciası olarak kayda geçti (Şekil 3, 4).

Alınan Önlemler: Bu olay, ABD'de federal maden güvenliği politikalarının oluşturulmasında bir katalizör oldu. 1910'da Maden Bürosu (Bureau of Mines) kuruldu ve madenlerde gaz izleme sistemlerinin geliştirilmesi için araştırmalar başlatıldı.

Yasal ve İdari Sonuçlar: İşletmecilere karşı dava açılmadı, ancak kamuoyu baskısı nedeniyle şirket gönüllü olarak mağdur ailelere tazminat ödedi (kişi başı yaklaşık 200 dolar). İdari cezalar yerine, yeni güvenlik yasaları getirildi.

Şekil 3. Monongah maden patlamasından bir görüntü (ABD, 1907)



Şekil 4. Monongah maden patlamasının resmedilmesi

4.2.2. Upper Big Branch maden patlaması (ABD, 2010)

Tarih: 5 Nisan 2010, Yer: Montcoal, Batı Virginia, ABD. Olay: Kömür tozu ve metan gazı patlaması 29 madencinin ölümüne yol açtı. Son 40 yıl içinde ABD'de ki en büyük maden faciası olarak kayda geçti (Şekil 5).

Alınan Önlemler: Olay, Maden Güvenliği ve Sağlık İdaresi (MSHA) tarafından kömür tozu kontrolü için daha sıkı standartlar getirilmesine neden oldu. 2011'de kömür tozu izleme sistemleri zorunlu hale geldi.

Yasal ve İdari Sonuçlar: İşletmeci Massey Energy'ye karşı dava açıldı ve şirket 209 milyon dolar tazminat ödemeye mahkûm edildi. Ayrıca, üst düzey yöneticilere 10'ar bin dolar para cezası kesildi ve ihmalle suçlanan bir yönetici 1 yıl hapis cezasına çarptırıldı.

Şekil 5. Upper Big Branch maden patlamasından bir görüntü (ABD, 2010)

4.3. Japonya'da Maden Patlamaları ve Tepkiler

4.3.1. Mitsubishi Hojyo maden patlaması (Japonya, 1914)

Tarih: 15 Aralık 1914, Yer: Kyushu Adası, Japonya. Olay: Metan gazı ve kömür tozu patlaması 687 madencinin ölümüne neden oldu. Japonya'daki en büyük maden faciası olarak tarihe geçti.

Alınan Önlemler: Bu olay, Japonya'da maden güvenliği için ilk ciddi düzenlemelerin yolunu açtı. 1920'lerde havalandırma sistemlerinin modernizasyonu ve gaz dedektörlerinin kullanımı teşvik edildi.

Yasal ve İdari Sonuçlar: İşletmeci Mitsubishi'ye karşı resmi bir dava açılmadı, ancak şirket gönüllü olarak ailelere küçük çaplı tazminatlar ödedi (kişi başı yaklaşık 50 yen). İdari cezalar uygulanmadı, ancak kamuoyu baskısı güvenlik önlemlerini artırdı.

4.3.2. Mitsui Miike maden patlaması (Japonya, 1963)

Tarih: 9 Kasım 1963, Yer: Omuta, Fukuoka, Japonya. Olay: Kömür tozu patlaması tünel çöküşlerine ve karbonmonoksit zehirlenmesine yol açarak 458

madencinin ölümüne, 833 madencinin ise yaralanmasına neden oldu.

Alınan Önlemler: Japonya'da maden güvenliği yasaları sertleştirildi ve acil durum tahliye prosedürleri geliştirildi. Kömür tozu kontrolü için su bazlı bastırma sistemleri zorunlu kılındı.

Yasal ve İdari Sonuçlar: Mitsui şirketi, ihmalle suçlandı ve dava sonucunda 100 milyon yen (yaklaşık 278 bin dolar) tazminat ödemeye mahkûm edildi. Şirket yöneticilerine sembolik para cezaları (kişi başı 10 bin yen) verildi.

4.4 Avustralya'da Maden Patlamaları ve Tepkiler

4.4.1. Mount Kembla maden patlaması (Avustralya, 1902)

Tarih: 31 Temmuz 1902, Yer: Yeni Güney Galler, Avustralya. Olay: Metan gazı patlaması 96 madencinin ölümüne yol açtı. Avustralya'daki en ölümcül maden faciasıydı.

Alınan Önlemler: Bu olay, Avustralya'da maden havalandırma sistemlerinin iyileştirilmesine ve gaz izleme cihazlarının kullanımına yönelik ilk adımları attırdı. 1904'te maden güvenliği yasaları güncellendi.

Yasal ve İdari Sonuçlar: İşletmecilere karşı dava açılmadı, ancak şirket gönüllü olarak ailelere tazminat ödedi (kişi başı yaklaşık 50 pound). İdari cezalar yerine yeni düzenlemeler getirildi.

4.4.2. Moura No. 2 maden matlaması (Avustralya, 1994)

Tarih: 7 Ağustos 1994, Yer: Queensland, Avustralya. Olay: Metan gazı patlaması 11 madencinin ölümüne neden oldu ve madenin kapanmasına yol açtı.

Alınan Önlemler: Avustralya'da Work Health and Safety (WHS) düzenlemeleri güçlendirildi. Gaz izleme ve tahliye sistemleri modernize edildi.

Yasal ve İdari Sonuçlar: İşletmeci BHP'ye karşı dava açıldı ve şirket 4 milyon Avustralya doları tazminat ödedi. Ayrıca, 50 bin dolar idari para cezası kesildi.

4.5. Hindistan'da Maden Patlamaları ve Tepkiler

4.5.1. Chasnala maden patlaması (Hindistan, 1975)

Tarih: 27 Aralık 1975, Yer: Dhanbad, Hindistan. Olay: Kömür tozu patlaması su tankının çökmesine neden oldu ve madeni su basarak 372 madencinin ölümüne yol açtı.

Alınan Önlemler: Hindistan'da maden güvenliği yasaları gözden geçirildi ve su baskın riskine karşı yapısal önlemler alındı. Ancak uygulama zayıf kaldı.

Yasal ve İdari Sonuçlar: İşletmeci Indian Iron and Steel Company'ye dava açıldı ve 10 milyon rupi (yaklaşık 130 bin dolar) tazminat ödedi. İdari cezalar sınırlı kaldı (50 bin rupi).

4.5.2. Bhopal kimya tesisi patlaması (Hindistan, 1984)

Tarih: 2-3 Aralık 1984, Yer: Bhopal, Hindistan. Olay: Teknik olarak maden patlaması olmasa da, maden endüstrisiyle bağlantılı bir kimyasal tesis patlaması 3000'den fazla kişinin ölümüne neden oldu ve uluslararası anlamda dikkat çekti.

Alınan Önlemler: Hindistan'da endüstriyel güvenlik yasaları sertleştirildi ve tehlikeli maddelerin depolanmasına yönelik kurallar getirildi.

Yasal ve İdari Sonuçlar: Union Carbide'a karşı dava açıldı ve şirket 470 milyon dolar tazminat ödedi. Üst düzey yöneticilere 2000'er rupi para cezası kesildi.

5. TARİHSEL OLAYLARLA PKD'NİN EVRİMİ

5.1. Türkiye'de Gerçekleşen Önemli Patlama Olayları ve PKD'nin Evrimindeki Rolü

5.1.1. Amasra maden patlaması (1960)

Tarih: 7 Mart 1960, Yer: Amasra, Bartın. Olay: Türkiye Taşkömürü Kurumu'na (TTK) bağlı bir madende metan gazı birikimi nedeniyle patlama, 63 madencinin ölümüne yol açtı. Dönemin teknik yetersizlikleri ve gaz izleme

sistemlerinin olmaması faciayı büyüttü.

PKD'nin Evrimindeki Rolü: Bu olay, Türkiye'de madenlerdeki patlayıcı gaz riskinin ciddiyetini ilk kez geniş çapta ortaya koydu. O dönemde PKD gibi bir belge henüz mevcut değildi. Ancak facia, maden güvenliği için sistematik bir yaklaşımın gerekliliğini vurguladı. 1960'lar, PKD'nin resmi bir kavram olarak ortaya çıkmasından önceki erken farkındalık aşamasını temsil etti ve bu tür olaylar, ilerleyen yıllarda risk analizi ihtiyacını doğurdu.

5.1.2. *Kozlu maden patlaması (1983)*

Tarih: 10 Nisan 1983, Yer: Kozlu, Zonguldak. Olay: Metan gazı patlaması ve ardından kömür tozuyla tetiklenen zincirleme patlamalar, 103 madencinin hayatını kaybetmesine neden oldu. Havalandırma sistemlerinin yetersizliği ve gaz birikiminin kontrol edilememesi temel nedenlerdi.

PKD'nin Evrimindeki Rolü: 1983 Kozlu faciası, madenlerdeki patlama risklerinin yalnızca bireysel önlemlerle değil, daha organize bir sistemle ele alınması gerektiğini gösterdi. Bu olay, 1980'lerde iş güvenliği tartışmalarını alevlendirdi ve Avrupa ile yakınlaşma sürecinde (1990'lar) PKD'nin ilk yasal temellerinin atılmasında dolaylı bir etki yarattı. PKD'nin risk sınıflandırması ve önleme planları gibi unsurları, bu tür kazaların tekrarını önleme çabalarının bir yansımasıdır.

5.1.3. Tüpraş İzmir rafineri patlaması (1999)

Tarih: 25 Nisan 1999; Yer: İzmir, Türkiye. Olay: Petrokimya sektöründe, bir bakım çalışması sırasında gaz sızıntısı patlamaya yol açtı ve 2 işçi öldü, 5 işçi yaralandı. Yetersiz risk değerlendirmesi ve güvenlik prosedürlerinin uygulanmaması faciaya neden oldu.

PKD'nin Evrimindeki Rolü: Bu olay, patlama riskinin madenlerle sınırlı olmadığını, diğer endüstriyel sektörlerde de ciddi bir tehdit oluşturduğunu ortaya

koydu. 2003'te yayımlanan "Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Çalışanların Korunması Hakkında Yönetmelik," bu tür kazaların ardından gelen baskılarla şekillendi. PKD'nin ilk resmi tanımı, Tüpraş gibi olayların gösterdiği ihtiyaçlara yanıt olarak, patlayıcı ortamların sistematik analizini zorunlu kıldı.

5.1.4. Kozlu maden patlaması (1992)

Tarih: 3 Mart 1992, Yer: Kozlu, Zonguldak. Olay: Metan gazı patlaması ve ardından gelen yangın, 263 madencinin ölümüne neden oldu. Türkiye'nin en büyük maden facialarından biri olarak tarihe geçti.

PKD'nin Evrimindeki Rolü: 1992 Kozlu faciası, maden güvenliği politikalarında bir dönüm noktası oldu. Bu olay, Avrupa Birliği ile uyum sürecinin hızlandığı 1990'larda, patlayıcı ortamların kontrolü için daha kapsamlı bir düzenleme ihtiyacını pekiştirdi. 2003 yönetmeliği ve PKD'nin ilk şekli, Kozlu'nun açığa vurduğu gaz izleme ve risk analizi eksikliklerini gidermeyi hedefledi. PKD'nin tehlikeli alanları sınıflandırılması (Zone 0, 1, 2) gibi unsurları, bu facianın acı derslerinden türemiş oldu.

5.1.5. Soma maden faciası (2014)

Tarih: 13 Mayıs 2014, Yer: Soma, Manisa. Olay: Kömür madeninde bir trafo patlaması yangına yol açtı ve karbonmonoksit zehirlenmesiyle birleşerek 301 madencinin ölümüne neden oldu. Teknik ihmaller ve güvenlik önlemlerinin yetersizliği sonucunda kazanın meydana geldiği anlaşıldı.

PKD'nin Evrimindeki Rolü: Soma faciası, 2012'de yürürlüğe giren 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun uygulanmasındaki eksiklikleri gözler önüne serdi. PKD, 2013 yönetmeliğiyle zaten zorunlu hale gelmişti, ancak bu olay, belgenin etkin bir şekilde uygulanmadığını ve denetimlerin yetersiz olduğunu gösterdi. Facia sonrası, PKD'nin hazırlanmasında daha sıkı standartlar ve düzenli denetimler getirildi. Belge, yalnızca bir yasal gereklilik olmaktan çıkıp

aktif bir risk yönetim aracı olarak güçlendirilmeye çalışıldı.

5.1.6. Sakarya Hendek havai fişek fabrikası patlaması (2020)

Tarih: 3 Temmuz 2020, Yer: Hendek, Sakarya. Olay: Havai fişek üretim tesisinde patlayıcı maddelerin kontrolsüz depolanması ve toz birikimi nedeniyle yaşanan patlama, 7 kişinin ölümüne ve 127 kişinin yaralanmasına yol açtı.

PKD'nin Evrimindeki Rolü: Bu olay, PKD'nin madenlerin ötesinde, diğer sektörlerdeki patlayıcı ortamlar için de kritik olduğunu vurguladı. 2020'ye gelindiğinde PKD yasal bir zorunluluktu, ancak Sakarya'da belgenin varlığına rağmen risklerin yeterince analiz edilmediği ve önlemlerin uygulanmadığı ortaya çıktı. Bu facia, PKD'nin dinamik bir araç olarak sürekli güncellenmesi ve işletmelerde teknik uzmanlık gerektiren bir kültür oluşturulması gerektiğini gösterdi.

5.1.7. Amasra maden patlaması (2022)

Tarih: 14 Ekim 2022, Yer: Amasra, Bartın. Olay: Metan gazı patlaması 41 madencinin ölümüne neden oldu. Gaz izleme sistemlerinin arızası ve ihmaller faciayı tetikledi.

PKD'nin Evrimindeki Rolü: 2022 Amasra faciası, PKD'nin modern dönemdeki uygulanabilirliğini sorgulattı. Olay, belgenin hazırlanmasında ve denetlenmesinde hâlâ eksiklikler olduğunu ortaya koydu. Facia sonrası, gaz izleme teknolojilerinin zorunlu hale getirilmesi ve PKD'nin daha sıkı bir şekilde denetlenmesi için çağrılar yapıldı. Bu olay, PKD'nin evriminde teknolojik entegrasyonun ve denetim kapasitesinin artırılmasının bir sonraki aşama olduğunu işaret etti.

6. BULGULAR VE TARTIŞMA

6.1. Yasal Yapı ve Hedefler

Türkiye'deki PKD, Avrupa'daki patlayıcı ortam yönetmeliklerinden esinlenerek risk sınıflandırma yaklaşımını benimser. Ancak, Avrupa'daki sistem, teknik detaylandırma ve standartlarla daha kapsamlı bir şekilde desteklenirken, Türkiye'de bu alan henüz gelişim aşamasındadır. Amerika'daki proses güvenliği modeli ise, patlama risklerini daha geniş bir güvenlik stratejisi içinde ele alır ve işletmelerin tüm süreçlerini kapsar. Türkiye'de PKD, daha çok iş yerindeki belirli risklere odaklanır ve bu yönüyle Avrupa ile Amerika arasında bir ara pozisyonda yer alır.

6.2. Uygulama ve Kontrol

Avrupa'da patlayıcı ortam belgeleri, bağımsız kuruluşlar tarafından denetlenir ve bu denetimler, belgenin etkinliğini artırır. Türkiye'de ise bu süreç, devlet denetim birimleri tarafından yürütülür ve bu durum, kaynakların ve uzmanlığın sınırlı kalmasına neden olabilir. Japonya ve Avustralya gibi ülkelerde, sektörel özdenetim mekanizmaları ön plandadır ve işletmeler kendi güvenlik sistemlerini geliştirmeye teşvik edilir. Türkiye'de bu tür bir özdenetim henüz yaygın değildir ve denetimlerin daha çok yaptırımlara odaklanması, proaktif bir yaklaşımın gelişimini sınırlamaktadır.

6.3. Teknolojik Boyut

Avrupa ve Amerika, patlama önleme sistemlerini (örneğin gaz algılama cihazları veya patlama bastırma sistemleri) zorunlu kılarken, Türkiye'de bu tür teknolojilerin kullanımı henüz standart bir gereklilik değildir. Avrupa'daki işletmeler, patlayıcı ortamları izlemek için gelişmiş sensörler kullanırken, Amerika'da proses güvenliği, ekipmanların sürekli bakımını ve yenilenmesini içerir. Türkiye'de ise bu tür teknolojiler, genellikle büyük ölçekli işletmelerle

sınırlıdır ve özel işletmelerde yaygınlaşmamıştır.

7. SONUÇ VE ÖNERİLER

Patlamadan Korunma Dokümanı, Türkiye'de patlayıcı ortamların yönetiminde önemli bir ilerleme kaydetmiştir ve tarihsel olarak endüstriyel ihtiyaçlar ve uluslararası etkilerle şekillenmiştir. 1960'lardan günümüze uzanan bu süreç, maden kazalarında Avrupa ile yakınlaşmaya, oradan modern yasal reformlara kadar uzanan bir evrim göstermiştir. Ancak, PKD'nin uluslararası düzeyde daha etkili bir konuma ulaşması için bazı iyileştirmelere ihtiyaç vardır.

Öncelikle, PKD'nin hazırlanmasında teknik standartlar netleştirilmeli ve bu belgeyi hazırlayacak kişiler için özel bir uzmanlık eğitimi zorunlu hale getirilmelidir. Şu anda, belgenin içeriği ve kalitesi, hazırlayan kişinin bilgi düzeyine bağlı olarak değişiklik göstermektedir ve bu durum, tutarlılığı olumsuz etkilemektedir. İkinci olarak, patlama risklerini izleyen ve önleyen teknolojik sistemler teşvik edilmelidir. Örneğin gaz algılama cihazlarının kullanımı, işletmelerde standart bir uygulama haline gelebilir ve bu, risklerin erken tespit edilmesini sağlayabilir. Son olarak, denetim süreçleri, bağımsız uzmanların katılımıyla güçlendirilmelidir. Devlet denetimlerinin yanı sıra, özel denetim birimleri, belgenin etkinliğini ve uygulanabilirliğini daha iyi değerlendirebilir.

PKD, Türkiye'de iş güvenliği alanında önemli bir araçtır ve doğru adımlarla, uluslararası standartlarla tam uyumlu hale gelebilir. Bu çalışma, PKD'nin tarihsel gelişimini ve küresel bağlamdaki yerini anlamak isteyenler için bir temel sunmayı amaçlamaktadır. Gelecekte, bu belgenin daha proaktif bir risk yönetim sistemine dönüşmesi hem çalışanların güvenliğini hem de endüstriyel sürdürülebilirliği artıracaktır. Son olarak, uluslararası mevzuatla tam uyum için şu adımlar önerilebilir:

- PKD'nin IEC 60079 gibi teknik standartlarla desteklenmesi,
- Denetimlerin bağımsız kuruluşlara açılması,

- Patlama risk analizi için ulusal bir veri tabanı oluşturulması (RIDDOR gibi).

KAYNAKLAR

18. Safe Work Australia, "WHS Regulations," 2021.

AS/NZS 60079, "Explosive Atmospheres Standards," Standards Australia, 2020.

BetrSichV, "German Operational Safety Ordinance," Federal Law Gazette, 2015.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı, "2015-2020 Denetim Raporları," 2021.

European Commission, "Directive 1999/92/EC (ATEX 137)," Official Journal, 1999.

European Commission, "Directive 2014/34/EU (ATEX 114)," Official Journal, 2014.

Government of India, "Factories Act 1948," Ministry of Labour, 2020.

IEC 60079, "Explosive Atmospheres Standards," International Electrotechnical Commission, 2021.

İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü, "Patlayıcı Ortamların Yönetimi," Ankara, 2022.

Japanese Industrial Safety and Health Act, "JIS Regulations," 2021.

MTA, "1974 Zonguldak Maden Kazası Raporu," 1975.

NFPA, "NFPA 652: Standard on Combustible Dust," 2020.

OSHA, "29 CFR 1910.119: Process Safety Management," U.S. Department of Labor, 2023. OSHA, "PSM Guidelines," 2022.

Resmî Gazete, "6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu," Sayı: 28339, 20 Haziran 2012.

Resmî Gazete, "Çalışanların Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Korunması Hakkında Yönetmelik," Sayı: 28633, 30 Nisan 2013.

Resmî Gazete, "İş Sağlığı ve Güvenliği Tüzüğü," Sayı: 19785, 1988.

Resmî Gazete, "Patlayıcı Ortamların Tehlikelerinden Çalışanların Korunması Hakkında Yönetmelik," Sayı: 25328, 26 Aralık 2003

TÜİK, "2000'ler Endüstriyel Güvenlik İstatistikleri," 2005.

FENOL DOLGU KÖPÜĞÜ UYGULAMASINDA FENOL VE FORMALDEHİT GAZ ÖLÇÜMLERİ: ÖRNEK VAKA ÇALIŞMASI

PHENOL AND FORMALDEHYDE GAS MEASUREMENTS IN PHENOLIC FOAM: APPLICATION CASE STUDY

Caner TUZ, Emre Can IĞDIR
F. Weber Madencilik San. ve Tic. LTD. ŞTİ., İzmir

ÖZET: Yeraltı kömür madenciliğinde jeolojik süreksizliklerden kaynaklı oluşan boşlukların dolgu işlemi, göçük bölgelerinin izolasyonu, havalandırma yönetimi kapsamında baraj oluşturulması ve yangınla mücadele gibi birçok uygulamada fenol dolgu köpükleri yaygın olarak tercih edilmektedir. Yüksek kabarma faktörü sayesinde düşük miktarda ürün kullanımı ile geniş alanların doldurulabilmesi, bu köpükleri operasyonel açıdan avantajlı kılmaktadır. Ayrıca aleve dayanıklı ve alev yürütmeyen yapısıyla, yangınla mücadelede güvenli bir dolgu malzemesi olarak öne çıkmaktadır. Uygulaması ise bir ölçekli pompa yardımıyla enjeksiyon yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Hızlı ve kolay uygulanabilir özellikleri sayesinde operasyonel verimliliği artırmakta ve acil durumlarda hızlı çözüm sunmaktadır. Ancak fenol dolgu köpüklerinin içerdiği toksik gazlar, özellikle uygulama sırasında çalışma ortamına yayılmakta ve iş sağlığı ve güvenliği açısından önemli riskler doğurmaktadır. Bu bildiride, fenol ve formaldehit gibi zararlı gazların ortam ölçümlerinin nasıl yapılması gerektiği, ölçüm sırasında dikkat edilmesi gereken teknik ve güvenlik önlemleri ayrıntılı biçimde ele alınmıştır. Ayrıca, gerçekleştirilen örnek bir vaka çalışması ile maruziyet seviyeleri analiz edilmiş ve ilgili mevzuat kapsamında belirlenen sınır değerlerle karşılaştırılmıştır. Elde edilen bulgular doğrultusunda, fenol dolgu köpüklerinin kullanımı sırasında iş güvenliğini sağlamak adına alınması gereken önlemler ve öneriler sunulmuştur.

Anahtar Kelimeler: Yeraltı madenciliği, fenol dolgu köpüğü, toksik gazlar, iş sağlığı ve güvenliği, formaldehit, fenol, ortam ölçümü

ABSTRACT: *Phenol filling foams are widely preferred in many applications such as filling of cavities caused by geological discontinuities in underground coal mining, isolation of goaf areas, creation of air barrier within the scope of ventilation management and firefighting. Thanks to its high expansion factor, the ability to fill large cavity with small product usage makes these foams*

advantageous in operational terms. In addition, it stands out as a safe filling material in firefighting with its flame-resistant and flame-retardant structure. Its application is carried out by injection method with the help of a scale pump. It increases operational efficiency and provides a quick solution in emergency cases thanks to its fast and easy-to-apply features. However, toxic gases contained in phenol filling foams spread into the working environment especially during application and pose significant risks in terms of occupational health and safety. In this study, how the ambient measurements of harmful gases such as phenol and formaldehyde should be made, technical and safety measures to be taken into consideration during the measurement are discussed in detail. In addition, exposure levels were analysed with a sample case study and compared with the limit values determined within the scope of the relevant legislation. In line with the findings, precautions, and recommendations to be taken to ensure occupational safety during the use of phenol filling foams are presented.

Keywords: *Underground mining, phenol filling foam, toxic gases, occupational health and safety, formaldehyde, phenol, ambient measurement*

1. GİRİŞ

Yeraltı kömür madenciliği, doğal kaynakların çıkarılması sürecinde karşılaşılan en zorlu mühendislik alanlarından biridir. Bu alanda yürütülen faaliyetler; göçük riski, yangın, metan patlamaları, zayıf zemin koşulları ve yetersiz havalandırma gibi birçok tehlikeli durumu beraberinde getirmektedir. Bu nedenle, üretim güvenliği kadar çalışanların sağlığı ve güvenliği de maden mühendisliğinin en kritik konularından biri olarak öne çıkmaktadır. Yeraltı ortamlarının yapay olarak kontrol altına alınması için çeşitli tahkimat ve izolasyon teknikleri kullanılmakta olup, bunlar arasında dolgu malzemeleri büyük önem taşımaktadır (İbuk vd., 1996; Kahraman vd., 2011; Tuz vd., 2019; Tuz vd., 2022).

Son yıllarda, özellikle büyük hacimli boşlukların kapatılması, göçük bölgesinin kontrolü, yangınların yayılımının engellenmesi, zararlı gazların yayılmasının önlenmesi ve havalandırmanın yönlendirilmesi gibi işlemlerde fenol bazlı dolgu köpükleri yaygın olarak tercih edilmektedir. Bu köpükler, yüksek genleşme oranlarına sahip olup uygulama kolaylığı ve düşük maliyet avantajlarıyla öne çıkmaktadır. Ayrıca yüksek sıcaklık dayanımı ve alev

yürütmeme özellikleri sayesinde, yangınla mücadele çalışmalarında etkin rol oynamaktadır (Hu vd., 2014; Tuz vd., 2019; Tuz vd., 2022).

Fenol dolgu köpüklerinin yeraltı madenlerinde kullanımının yaygınlaşması, beraberinde yeni sağlık ve güvenlik risklerini de getirmiştir (Yılmaz vd., 2022). Uygulama sırasında köpüğün kimyasal reaksiyonu sonucunda açığa çıkan fenol ve formaldehit gibi uçucu organik bileşikler (VOC), ortam havasına karışarak çalışanların solunum yoluyla maruz kaldığı toksik ajanlar arasında yer almaktadır. Fenol; merkezi sinir sistemi, karaciğer ve böbrek fonksiyonları üzerinde zararlı etkiler gösteren bir kimyasalken (NIOSH, 2005), formaldehit ise Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından Grup 1 kanserojen olarak sınıflandırılmaktadır (IARC, 2012). Bu gazların düşük konsantrasyonlarda bile uzun süreli maruziyeti, başta solunum sistemi olmak üzere birçok organ sisteminde kronik sağlık problemlerine yol açabilmektedir (Yılmaz vd., 2022).

İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) mevzuatına göre, çalışanların zararlı kimyasallara maruziyeti sınır değerler dahilinde tutulmalı, maruziyet ölçümleri düzenli olarak yapılmalı ve gerekli mühendislik ve idari kontrol önlemleri alınmalıdır (Yılmaz vd., 2022; Bilen vd., 2023). Özellikle yeraltı gibi sınırlı hacme ve sınırlı hava değişim kapasitesine sahip ortamlarda, toksik gazların yayılımı hızlı olabileceğinden, bu tür uygulamalarda risk değerlendirmesi yapılması büyük önem taşımaktadır (OSHA, 2023; ÇSGB, 2021).

Bu çalışmada, yeraltı kömür madenciliğinde yaygın olarak kullanılan fenol dolgu köpüklerinin uygulama sürecinde açığa çıkan zararlı gazların ölçüm yöntemleri, analiz teknikleri ve iş sağlığı açısından değerlendirmesi ele alınmıştır. Ayrıca gerçekleştirilen örnek bir uygulama üzerinden, fenol ve formaldehit gazlarının konsantrasyonları ölçülmüş ve bu değerler, ulusal ve uluslararası maruziyet sınırları ile karşılaştırılmıştır. Çalışma sonucunda, uygulama sırasında alınması gereken önlemler ve güvenli uygulama için önerilen İSG protokolleri ortaya konmuştur.

2. FENOL DOLGU KÖPÜKLERİ

2.1. Fenol Dolgu Köpüklerinin Teknik Özellikleri

Fenol esaslı dolgu köpükleri, iki bileşenli reaktif sistemlerin karıştırılmasıyla elde edilen, kendiliğinden genleşen ve kısa sürede sertleşen termo-set plastik yapıdaki malzemelerdir. Fenol formaldehit reçineleri (PFR) ile sülfirik asitlerin reaksiyonu sonucu ortaya çıkan bu malzemeler, ısıya dayanıklı, alev yürütmeyen ve düşük ısı iletkenlik değerine sahip yapılar oluşturur (Tuz vd., 2022; Tuz vd., 2023). Genellikle 10:1 ile 70:1 arasında değişen kabarma oranlarına sahiptir ve bu da çok küçük hacimdeki kimyasal karışım ile büyük hacimlerin doldurulmasına olanak tanır (Tuz vd., 2022).

Fenol köpüklerin öne çıkan teknik özellikleri:

- **Alev yürütmeme (non-flammable)** özelliği sınıf E (TS EN 13501-1 Yapı mamulleri ve yapı elemanları, yangın sınıflandırması bölüm 1: Yangın karşısındaki davranış deneylerinden elde edilen veriler kullanılarak sınıflandırma),
- **Yüksek termal stabilite** (180-250 °C arası),
- **Kimyasal dayanım** (asit ve bazlara karşı direnç),
- **Kısa reaksiyon süresi** (genellikle 10-60 saniye),
- **İyi yapışma ve mekanik stabilite**.

Bu özellikler, yeraltı koşullarında yangınla mücadele ve yardımcı tahkimat gibi alanlarda fenol köpüğünü tercih edilen bir malzeme haline getirmiştir (Bilen vd., 2023; Tuz vd., 2022).

2.2. Uygulama Alanları ve Operasyonel Avantajlar

Yeraltı madenciliğinde fenol köpüklerinin başlıca kullanım alanları şu şekilde özetlenebilir (Tuz vd., 2019; Tuz vd., 2022; Bilen vd., 2023);

- **Boşluk Doldurma:** Üretim sırasında açığa çıkan jeolojik boşluklar, tavan oturmaları ve çökmeler, çalışma alanının güvenliğini tehdit etmektedir. Bu boşlukların fenol köpük ile doldurulması, stabiliteyi artırır.
- **Göçük İzolasyonu:** Ani çökme veya kazı kazaları sonucu oluşan göçük bölgelerinin izole edilmesi amacıyla kullanılabilir.
- **Havalandırma Yönetimi:** Hava akımlarının yönlendirilmesi veya kaçakların önlenmesi için geçici veya kalıcı baraj olarak uygulanabilir.
- **Yangınla Mücadele:** Yangın bölgesine hava girişini engelleyerek alevin yayılmasını önler.
- **Zararlı Gaz İzolasyonu:** Metan, karbonmonoksit gibi tehlikeli gazların yayılımını engellemek için sızdırmaz baraj görevi görür.

Uygulama, genellikle taşınabilir pompa sistemleri vasıtasıyla yapılmakta olup, düşük viskoziteli karışımın reaksiyon öncesi ortama kolayca enjekte edilmesine olanak tanır (Tuz vd., 2019; Tuz vd., 2022). 5 ila 15 dakikalık sürede köpük tamamen sertleşir ve işlevsel hale gelir.

2.3. Uygulama Sırasında Açığa Çıkan Zararlı Gazlar

Fenol köpüklerin üretim sürecinde temel bileşenler olan **fenol** ve **formaldehit**, reaksiyon sırasında kısmen buharlaşarak ortama yayılabilir. Bu buharlaşma özellikle:

- Kapalı ortamlar ve zayıf havalandırmalı bölgelerde,
- Yüksek ortam sıcaklığında,
- Yoğun malzeme kullanımı durumunda daha yoğun olur.

2.3.1. Fenol

Fenol, deriden emilebilen ve buharı solunduğunda solunum yolları ile merkezi sinir sistemini etkileyen toksik bir bileşiktir. Ani maruziyet durumunda göz, burun ve boğazda tahriş, baş dönmesi, mide bulantısı gibi etkiler görülebilir. Kronik maruziyette ise karaciğer ve böbrek hasarına yol açabilir (NIOSH, 2005).

2.3.2. Formaldehit

Formaldehit, düşük konsantrasyonlarda dahi göz ve solunum yollarında ciddi tahrişe yol açan, karsinojenik sınıfta yer alan bir bileşiktir (Bilen vd., 2022, Yılmaz vd., 2022; Iğdır vd., 2024). OSHA tarafından belirlenen kısa süreli maruziyet sınır değeri (STEL) 2 ppm, zaman ağırlıklı ortalama (TWA) değeri ise 0.75 ppm'dir (OSHA, 2023). Uluslararası Kanser Araştırma Ajansı (IARC) tarafından da Grup 1 kanserojen olarak tanımlanmıştır (IARC, 2012).

2.4. İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) Açısından Riskler

Fenol dolgu köpüğü uygulamaları sırasında çalışanların solunabilir ortamda bulunması, gerekli önlemler alınmadığı takdirde ciddi sağlık risklerine yol açabilir. Bu nedenle aşağıdaki önlemler kritik önemdedir (Bilen vd., 2022; Yılmaz vd., 2022);

- **Ortam Ölçümü:** Uygulama sırasında fenol ve formaldehit konsantrasyonlarının sürekli izlenmesi,
- **Kişisel Koruyucu Donanım (KKD):** Uygulayıcı personelin ABEK tipi filtreli maskeler, eldiven ve tam koruyucu giysi ile çalışması,
- **Mühendislik Kontrolleri:** Zararlı madde konsantrasyonu düşük ürünlerin kullanımı ile uygulama alanlarında yeterli havalandırmanın sağlanması ve uygulamanın düşük hava akımına sahip bölgelerden kaçınılması,

- **Eğitim ve Bilinçlendirme:** İşçilere, kimyasal maruziyetin etkileri ve korunma yolları hakkında düzenli eğitim verilmesi.

Yapılan bazı saha çalışmalarında, köpük uygulaması sırasında fenol gazlarının 1,5–3 ppm, formaldehit gazlarının ise 0,3–0,7 ppm aralığında ölçüldüğü bildirilmiştir. Bu değerler, sınır değerlere yakın olmakla birlikte özellikle uzun süreli maruziyetlerde ciddi sağlık problemlerine neden olabilecek düzeydedir (ÇSGB, 2021).

3. MALZEME VE YÖNTEM

3.1. Vaka Çalışması: Deneysel Kurgu ve Uygulama Koşulları

11 Mayıs 2005 tarihinde Almanya Recklinghausen'deki DSK Maden Eğitim Merkezi'nde, IGF (Tehlikeli Maddeler Araştırma Enstitüsü) tarafından A. Weber GmbH'nin talimatıyla ve MARIFLEX LS1 fenol-formaldehit reçine esaslı dolgu köpüğünün kullanımı esnasında açığa çıkan formaldehit ve fenol gazlarına ilişkin maruziyet düzeylerinin belirlenmesine yönelik deneysel bir çalışma gerçekleştirilmiştir.

Test, 250 kg A bileşeni (reçine) ve 70 kg B bileşeni (katalizör) kullanılarak açık boşluk doldurma uygulaması senaryosu üzerine kurgulanmıştır. İşlem süresi yaklaşık 40 dakika olup, ortalama 28 tur pompa vuruşu/dk hızında 8 kg/dk dolgu malzemesi enjeksiyonu sağlanmıştır. Havalandırma debisi dakikada 400 m^3 olacak şekilde sabit tutulmuş ve bu sayede işlenen her kg malzeme için 50 m^3 spesifik hava akışı sağlamıştır.

3.2. Ölçüm Noktaları ve Yöntem

Ölçümler; üç sabit istasyonda (dolgu noktasından sırasıyla 7 m, 18 m ve 28 m uzaklıkta) ve üç farklı yükseklikte (1,0 m, 1,5 m, 2,0 m) gerçekleştirilmiştir. Ayrıca nozül ve pompa operatörlerine yönelik kişisel maruziyet ölçümleri yapılmıştır. Formaldehit ve fenol ölçümleri, GSA 2001 ve 500 pompaları

kullanılarak sırasıyla Waters XPoSure ve ORBO 615 tüpleri aracılığıyla toplanan numunelerin HPLC analizine tabi tutulmasıyla belirlenmiştir.

3.3. Formaldehit Maruziyet Bulguları

Formaldehit konsantrasyonları, ölçüm yapılan tüm sabit istasyonlarda belirgin şekilde TRGS 900 sınır değeri olan **0,62 mg/m³**'ün ve DFG (2003) tarafından önerilen **0,37 mg/m³** rehber değerinin oldukça altında kalmıştır (Çizelge 1).

Çizelge 1: Formaldehit ölçüm sonuçları (Weber, 2005)

Ölçüm Noktası	Yükseklik (m)	Formaldehit (mg/m³)
7 m	2.0	0.050
7 m	1.5	0.116
7 m	1.0	0.136
18 m	2.0	0.087
18 m	1.5	0.114
18 m	1.0	0.109
28 m	2.0	0.088
28 m	1.5	0.102
28 m	1.0	0.102
Nozül Operatörü	-	0.022
Pompa Operatörü	-	0.010

Kısa süreli (15 dakikalık) ölçümlerde dahi en yüksek formaldehit seviyesi 0.136 mg/m³ ile referans değerin altında kalmıştır. Bu sonuçlar, işlemin hiçbir aşamasında formaldehit maruziyetinin kritik değerlere ulaşmadığını göstermektedir.

3.4. Fenol Maruziyet Bulguları

Fenol konsantrasyonları da benzer şekilde yasal sınır olan **19 mg/m³**'ün ve Avrupa Birliği tarafından önerilen **7,8 mg/m³** değerinin oldukça altında kalmıştır (Çizelge 2).

Çizelge 2: Fenol ölçüm sonuçları (Weber, 2005)

Ölçüm Noktası	Yükseklik (m)	Fenol (mg/m³)
7 m	2.0	0.367
7 m	1.5	0.797
7 m	1.0	0.888
18 m	2.0	0.492
18 m	1.5	0.786
18 m	1.0	0.870
28 m	2.0	0.466
28 m	1.5	0.733
28 m	1.0	0.671
Nozül Operatörü	-	0.193
Pompa Operatörü	-	0.049

İnsan maruziyet düzeyleri, sabit noktalardaki değerlere kıyasla %10-25 oranlarında olup, oldukça düşük seviyelerdedir.

3.5. Değerlendirme

Uygulama senaryosu, geniş yüzey teması ve açık dolum tekniği gibi riskli kabul edilebilecek koşullarda gerçekleştirilmesine rağmen, elde edilen ölçümler hem formaldehit hem de fenol açısından kabul edilebilir sınırların oldukça altında kalmıştır. Özellikle formaldehit maruziyetinin hiçbir noktada DFG rehber değeri

olan 0,37 mg/m³'ü aşmaması, iş sağlığı açısından güvenli bir uygulama ortamı sağlandığını ortaya koymaktadır.

Fenol için de benzer şekilde, TRGS 900 ve AB sınır değerlerine kıyasla oldukça düşük seviyelerde seyreden konsantrasyonlar, uygulama esnasında solunabilir fenol miktarının ciddi bir tehdit oluşturmadığını göstermektedir. Bununla birlikte, fenolün keskin kokusu nedeniyle rahatsızlık verici olabileceği ve bu sebeple uygun havalandırma ve kişisel koruyucu donanım kullanımının önem arz ettiği belirtilmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada, MARIFLEX LS1 mukavemetli fenol köpüğünün kullanımıyla yer altı madenlerinde çalışanların formaldehit ve fenol gibi zararlı maddelere maruziyet düzeyleri değerlendirilmiştir. Yapılan araştırmalar, bu kimyasalların yer altı koşullarında nasıl yayıldığını ve işyeri maruziyet limitlerinin bu süreçte nasıl etkilendiğini ortaya koymuştur. Sonuçlar, MARIFLEX LS1 köpüğünün kullanımı sırasında işyeri maruziyet limitlerine uyum sağlandığını ve formaldehit ile fenolün havadaki konsantrasyonlarının belirlenen limitlerin altında kaldığını göstermektedir.

Çalışmada elde edilen veriler, yapılan ölçümlerin formaldehit ve fenolün yasal limitlerin çok altında olduğunu, özellikle formaldehit için önerilen 0,37 mg/m³ limitinin rahatlıkla aşılamadığını ortaya koymuştur (IARC, 2012). Test edilen işyeri koşullarında, maruziyet seviyeleri sadece sabit ölçüm noktalarındaki değerlerin %10-25'ine kadar ulaşmış, bu da operatörlerin maruziyetinin sağlık açısından büyük bir risk taşımadığını göstermiştir. Formaldehit için yapılan kısa süreli ölçümler de 15 dakikalık sürelerle, belirtilen kısa süreli sınır değerlerinin altında kalmıştır (OSHA, 2023; NIOSH, 2005). Fenol için de benzer şekilde tüm ölçümler 19 mg/m³'lük limitin çok altında kalmıştır (NIOSH, 2005). Bu da

yapılan güvenlik önlemlerinin ve havalandırma sistemlerinin etkinliğini göstermektedir.

Çalışma, MARIFLEX LS1'un kullanım koşullarının, mevcut yasal düzenlemelere uygun olduğunu ve bu koşullar altında formaldehit ve fenol maruziyetinin iş sağlığına zarar vermediğini ortaya koymaktadır. Yine de özellikle fenol gibi kokusu kuvvetli olan kimyasallar için, daha düşük konsantrasyonların sağlanması amacıyla ek önlemler alınması gerektiği vurgulanmıştır.

Testler, farklı maden koşullarında da yapılmalı ve daha fazla veri ile bu bulguların doğruluğu pekiştirilmelidir. Ayrıca, yer altı madenlerinde kullanılan kimyasalların sağlık üzerindeki etkilerini daha iyi anlayabilmek için uzun dönemli çalışmalar yapılması önerilmektedir. Böylece, iş sağlığı ve güvenliği önlemleri daha da güçlendirilebilir.

KAYNAKLAR

A. Weber GmbH ve DSK Maden Eğitim Merkezi Deneysel Çalışmaları. (2005). Recklinghausen, Almanya.

Bilen M., Yılmaz S., Yılmaz Ö., Çakır A., Kaymakçı E., Toroğlu İ., (2022). Yeraltı madenlerinde kullanılan fenol bazlı dolgu malzemelerinin oluşturulması sırasında açığa çıkan kanserojen formaldehit gazı üzerine bir inceleme, Türkiye 22. Uluslararası Kömür Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 29-30 Eylül 2022, Zonguldak, (pp. 219-227).

Bilen, M., Tuz, C., Rasskazova, A., Kızılgedik, R., Toroğlu, İ., Yılmaz, S., Çakır, A., Kaymakçı, E., (2022). Gaz Kromatografı (Headspace GC-FID) kullanarak fenol bazlı dolgu malzemelerinin içeriğindeki formaldehit miktarlarının tespit edilmesi. O. Altun vd. (Eds.). Türkiye 27. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi (pp. 374-384). Antalya, Türkiye.

Bilen, M., Tuz, C. (2023). Analysis and recommendations on the use of polymer and phenol based materials for coal mines. Bilimsel Madencilik Dergisi. (pp. 31-36). https://doi.org/10.30797/madencilik.1178526.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı [ÇSGB]. (2021). Kimyasal Maddelerle Çalışmalarda Sağlık ve Güvenlik Önlemleri Hakkında Yönetmelik. Resmî Gazete. Erişim: https://www.resmigazete.gov.tr.

DFG MAK-Werte-Liste. Deutsche Forschungsgemeinschaft, Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe, (2003).

Hu X., Cheng W., Wang D., (2014). Properties and Applications of Novel Composite Foam for Blocking Air Leakage in Coal Mine.

İbuk A., Özarslan A., Atlaş M. (1996). Orta Anadolu Linyitlerinde Ayaklarda Tavan Kontrol Sorunları ve Uygulanan Yöntemler, Türkiye 10. Kömür Kongresi, Zonguldak.

Iğdır E. C., Tuz C., (2024). Serbest formaldehit tutucu olarak kullanılan ürenin fenol formaldehit reçineleri üzerindeki etkileri, Türkiye 23. Uluslararası Kömür Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 12-13 Eylül 2024, Zonguldak, (pp. 281-290).

International Agency for Research on Cancer [IARC]. (2012). IARC monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans: Chemical agents and related occupations (Vol. 100F). World Health Organization.

Kahraman E., Erdem H.H., Sığırcı C., (2011). Park Termik Çayırhan Linyit İşletmesi Kazı Tahkimat Söküm İşleri Eğitim Kitabı, Teknik Not, Ankara.

National Institute for Occupational Safety and Health [NIOSH]. (2005). Phenol: Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations (IDLH). https://www.cdc.gov/niosh/idlh/.

Occupational Safety and Health Administration [OSHA]. (2023). Formaldehyde - Occupational Exposure Limits. U.S. Department of Labor. https://www.osha.gov/formaldehyde.

TRGS 900 – Luftgrenzwerte (Hava Limit Değerleri), (2006). Ausschuss für Gefahrstoffe (AGS), Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin (BAuA), Almanya.

Tuz, C., Çağlayan, T., Erel, A., Kahraman, E. (2019). Yeraltı kömür madenciliğinde enjeksiyon ve köpük pompasının önemi. Ç. Tatar, E. Kahraman & T. Suiçmez (Eds.). 7. Uluslararası Maden Makinaları ve Teknolojileri Kongresi (pp. 102-110). İzmir, Türkiye.

Tuz, C., Bilen, M., Kaymakçı, E., Toroğlu, İ., Yılmaz, Ö., Yılmaz, S. (2022). Kimyasal dolgu malzemelerinin karakteristikleri ve kömürün kendiliğinden yanması üzerine etkisinin incelenmesi. O. Altun vd. (Eds.). Türkiye 27. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi (pp. 501-514). Antalya, Türkiye.

Tuz, C., Bilen, M., Yılmaz, Ö., Yılmaz, S. (2023). Fenol bazlı ve poliüretan köpüklerin kömürün kendiliğinden yanması üzerine etkisi. N. E. Altun vd. (Eds.). Türkiye 28. Uluslararası Madencilik Kongresi ve Sergisi (pp. 853-871). Antalya, Türkiye.

Yılmaz S., Bilen M., Kaymakçı E., Tuz C., Bahadır E., Toroğlu İ., Hacıfazlıoğlu H., Şahin M., Yılmaz Ö., (2022). Yeraltı Kömür Madenciliğinde Kullanılan Fenol Bazlı Dolgu Malzemelerinin Kanserojen Formaldehit İçeriği ve İSG Açısından Değerlendirilmesi.

AB PERSPEKTİFİNDEN GÜVENLİ MADENCİLİK İÇİN ATIK YÖNETİMİNDE YOL HARİTASI VE AFET/ ACİL DURUM FARKINDALIĞI

ROADMAP AND DISASTER/EMERGENCY AWARENESS IN WASTE MANAGEMENT FOR SAFE MINING FROM EU PERSPECTIVE

Ali Koray ÖZDOĞAN
Kütahya Afet ve Acil Durum İl Müdürlüğü, Kütahya

Gizem ÖZDOĞAN
Garp Linyitleri İşletmesi Müdürlüğü, Kütahya

Akın AKBULUT
Maden Yük. Mühendisi, Ankara

ÖZ: 15 Mart 2006 tarihinde Avrupa Parlamentosu ve Konseyi tarafından çıkartılan 2006/21/EC sayılı direktif ile madencilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan tehlikeli atıkların çevre, su, hava, toprak, flora ve çevre üzerindeki oluşturabileceği olumsuz etkilerin ve insan sağlığına yönelik ortaya çıkan risklerin mümkün olduğunca önlenmesi veya azaltılması amaçlanmıştır. AB aday ülke statüsünde olan Türkiye, madencilikte atık yönetim sürecinde uyum çalışmalarını her geçen gün ilerletmektedir. Maden işletme faaliyetleri yürütülen sahalarda sıfır atık yaklaşımı uygulanmasına imkân olmayan durumlarda oluşan atıkların iş güvenliği de göz önünde bulundurularak doğru şekilde muhafaza edilmesi birincil önceliktir. Ancak atık yönetimi için mevzuat gereği ve uygulama aşamasında yürütülecek süreçte yapılması gerekenlerin tam olarak anlaşılması bu alanda sağlık ve güvenlik açısından verimli koşulların oluşturulmasında fayda sağlayacaktır. Ayrıca oluşabilecek bir maden atığı kaynaklı kaza durumunda yapılması gerekenler için afet ve acil durum farkındalığı etkileşiminin artırılması önem arz etmektedir. Bu çalışmada söz konusu atık yönetim süreci ile atık yönetim sürecinde insan sağlığı ve iş güvenliği için alınması gereken önlemler ve olası bir kaza durumunda afet/acil durum koşulları ile ilgili yapılması gerekenler açıklanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Afet Farkındalığı, Atık Yönetimi, Kaza,

ABSTRACT: *With the Directive 2006/21/EC issued by the European Parliament and the Council on 15 March 2006, it is aimed to prevent or reduce the negative effects of hazardous wastes arising from mining activities on the environment, water, air, soil, flora and the environment and the risks to human health as much as possible. As an EU candidate country, Turkey is advancing its harmonisation*

efforts in the mining waste management process day by day. In cases where it is not possible to implement a zero waste approach in the areas where mining activities are carried out, the primary priority is to properly store the wastes generated, taking into account occupational safety. However, a full understanding of what needs to be done in the process to be carried out in accordance with the legislation and in the implementation phase for waste management will be beneficial in creating efficient conditions in terms of health and safety in this field. In addition, it is important to increase the interaction of disaster and emergency awareness for what to do in case of an accident caused by mining waste that may occur. In this study, the waste management process and the precautions to be taken for human health and occupational safety in the waste management process and what to do about disaster/emergency conditions in case of a possible accident are explained.

Keywords: Disaster Awareness, Waste Management, Accident,

1. GİRİŞ

Avrupa Birliği tarafından madencilik faaliyetleri sonucunda oluşan atıklar tüm atık yönetim sistemi içerisinde en büyük atık kaynakları arasında gösterilmektedir (AB,2006). Bu atıkların bir kısmının inert atık olduğu insan sağlığına ve çevreye zarar verme olasılığı düşük olduğu ancak özellikle ağır metal içeriğine sahip olan atıkların insan sağlığı ve çevre için tehlikeli maddeler içerdiği düşünülmektedir. Madencilikte arama döneminde yapılan sondajlar sonucunda ortaya çıkan sondaj atıkları/çamurları, işletme döneminde örtü-kazı faaliyetleri ile çıkartılan cevher ve pasa ile zenginleştirme safhasında ortaya çıkan proses atıkları, AB müktesebatında "Maden Atık Yönetimi" içerisinde gösterilmektedir. Bu atıklar dışında madencilik faaliyetlerinin yürütüldüğü alanlarda bulunan bina ve eklentilerinde (yemekhane vb.) yapılan çalışmalar doğrudan madencilik faaliyetlerinden kaynaklanmayan atıklar olarak tanımlandığından ortaya çıkan evsel atıklar, geri dönüştürülebilir atıklar ile ilgili faaliyetler bu atık yönetimi sistemi dahilinde bulunmamaktadır (AB,2006).

Mer'i mevzuatta Atık Yönetimi Yönetmeliği'nin Ek-4 listesinde atık yönetimine tabi atıklar tanımlanmıştır. 20 ana başlığın yer aldığı atık listesinin birinci maddesinde ise madenlerin aranması, çıkarılması, işletilmesi, fiziki ve

kimyasal işleme tabi tutulması sırasında ortaya çıkan atıklar yer almaktadır. Mer'i Türk Çevre Mevzuatında da atık yönetiminde ilk sırada olan madencilik faaliyetleri sonrasında ortaya çıkan atıkların doğru şekilde depolanması insan sağlığı ve çevresel felaketlerin önüne geçilmesi adına önem arz etmektedir. Yapılacak çalışmaların doğru şekilde yürütülmesi ve oluşabilecek bir kaza durumunda afet farkındalığının üst seviyede olması sayesinde yaşanan kazalarda zorunlu süreçlerin doğru yönetilmesi ile can ve mal kaybının önüne geçilebilmesi mümkündür. Mevzuat gereği atık yönetimi ile ilgili hususlar Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı ve afet/acil durum yönetim sistemi ile ilgili hususlar İçişleri Bakanlığı yetki alanında bulunmaktadır. Bu bağlamda madencilik faaliyeti yürüten sektör paydaşlarınca bu hususlarda yapılacak çalışmaların açık olarak anlaşılması ve bu bağlamda tasarım ve eylem planı hazırlanması döneminde alınacak önlemler ile madencilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atıkların yönetiminde insan sağlığı, iş güvenliği ve çevre açısından riskler mümkün olduğunca önlenebilecek veya olumsuz etkileri azalacaktır. Geçmiş dönemde Türkiye ve yabancı ülkelerde bu kapsamda yaşanan kazalar ile ilgili kamuoyunda oluşan olumsuz algının önüne geçilmesi için madencilik sektöründe faaliyet gösteren tüm işletmecilerin bu alanlara özel önem vermesi zorunluluktur. Bu bağlamda sektörel farkındalık sağlayacak olan bu çalışmanın devamında yapılacak çalışmalara örnek nitelikte olabileceği düşünülmektedir.

2. MATERYAL VE YÖNTEM

Bu çalışma kapsamında, madencilikte iş sağlığı ve güvenliğinde atık yönetim sürecinde yapılması gereken hususlara dair açıklayıcı bilgiler verilmektedir. Olası bir olumsuz durumda acil durum ve afet yönetimi kapsamında farkındalık oluşturulması amaçlanmaktadır. Özellikle bertaraf tesislerinde yaşanan kazalar sonucu çevresel hasarlar ve can-mal kaybı ile sonuçlanan durumların önüne geçilmesi için pro-aktif yaklaşımın önemli olduğu

günümüzde madencilik faaliyetlerinin bir sonucu olan maden atıklarının doğru şekilde bertaraf edilmesinin önemine dikkat çekerek, afet farkındalığı ile uyumunu göstermek hedeflenmiştir. Çalışma kapsamında, uygulamada maden işletme faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atıkların insan sağlığı, iş güvenliği ve çevresel etkileri üzerine bir değerlendirme veya gözlem yapılmamıştır.

3. ARAŞTIRMA BULGULARI

3.1. Maden Atık Yönetimi

Madencilik faaliyetlerinden kaynaklanan çevre, özellikle su, hava, toprak, fauna ve flora ile manzara üzerindeki olumsuz etkilerin ve insan sağlığına yönelik ortaya çıkan risklerin mümkün olduğunca önlenmesi veya azaltılması için tedbirler, prosedürler ve rehberlik faaliyetlerinin tümü maden atık yönetimi olarak tanımlanabilmektedir (MAY,2015).

Maden atık yönetimi içinde yer alan terimlerin anlaşılması önem arz etmektedir. Madenlerin aranması, çıkarılması, hazırlanması ve zenginleştirilmesi veya depolanması sonucunda oluşan katı veya şlam/sulu çamur şeklinde madde maden atığı olarak tanımlanmaktadır. Bunun dışında 2/4/2015 tarihli ve 29314 sayılı Resmî Gazete'de yayımlanan Atık Yönetimi Yönetmeliğinin Ek-2A listesinde açıklanmış olan bertaraf metotları göz önünde bulundurulduğunda, maden arama ve işletme döneminde ortaya çıkan atıkların bertaraf edilmesi gayesiyle kullanılan atık barajı, atık göletleri, atık yığını, pasa yığını, çöktürme havuzları, atık havuzu, pasa depolama alanları, macun dolgu, üretimi biten yığın liç alanları maden atığı bertaraf tesisi olarak adlandırılmaktadır. Depolanan maden atıklarından süzülen ve kaynaklanan her türlü sıvı; sızıntı suyu ve depolama sahasında doğal olarak bulunan ya da sonradan oluşturulan geçirimsiz tabaka ise geçirimsizlik sistemi şeklinde bu sistem içerisinde tanımlanmıştır (MAY,2015)

Maden karakterizasyonu sonucu atığın sağlık ve çevreye olan etkileri neticesinde maden atıkları üçe ayrılmıştır. Bunlar inert(etkisiz) maden atığı, tehlikesiz maden atığı ve tehlikeli maden atığı olarak belirtilmektedir (MAY,2015).

3.1.1. Tehlikeli maden atıkları

Tehlikeli maden atığı; Atık Yönetimi Yönetmeliği'nin Ek-3 listesi A bölümünde yer alan tehlikelilik özelliklerinden birini ya da birden fazlasını taşıyan, Ek-4 listesinde altı haneli atık kodunun yanında yıldız (*) işareti bulunan maden atıklarını ve/veya aynı yönetmeliğin Ek-3 listesinde belirtilen analizler sonucunda ilgili mevzuatta yer alan sınır değerleri aşan maden atıkları olarak tanımlanmaktadır.

Maden atığının tehlikeli olup olmadığını belirlemek amacıyla; mer'i mevzuat gereği yapılan incelemede Atık Yönetimi Yönetmeliği'nin Ek-4 atık listesinde; sülfürlü cevherlerin işlenmesinden kaynaklanan asit üretici maden atıkları(A), tehlikeli madde içeren diğer maden atıkları, metalik minerallerin fiziki ve kimyasal işlenmesinden kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren diğer atıklar, alüminyum oksit üretiminden çıkan tehlikeli maddeler içeren kırmızı çamur, metalik olmayan minerallerin fiziki ve kimyasal işlenmesinden kaynaklanan tehlikeli maddeler içeren atıklar, yağ içeren sondaj çamurları ve atıkları(A), tehlikeli maddeler içeren sondaj çamurları ve diğer sondaj atıkları olduğu görülmüştür. Burada (A) ile belirtilen atık çeşitleri, o atığın kesin tehlikeli atık olduğunu belirtmektedir. Ayrıca burada verilen diğer atıklar için ise muhtemel tehlikeli atık olduğu ilgili yönetmelikte belirtilmektedir. Muhtemel tehlikeli atıklar için ise tehlikelilik özelliklerinin belirlenmesi için belirli analizler yapılması gerekmektedir. Bu analizlere kısaca değinirsek; atığın alevlenir olup olmadığı, cilt ile ani, uzun süreli ya da tekrar eden temaslar halinde yanığa sebebiyet verip vermediği, solunduğu veya yenildiğinde ya da deriye nüfuz

ettiğinde belirli bir sağlık riski içerip içermediği, solunduğunda veya yenildiğinde ya da deriye nüfuz ettiğinde, sağlık yönünden ciddi, akut veya kronik risk veya ölüme sebebiyet verip vermediği, solunduğunda veya yenildiğinde ya da deriye nüfuz ettiğinde, kansere yol açıp açmadığı veya etkisinin artmasına neden olup olmadığı, temas halinde canlı dokuları tahrip edip etmediği, doğuştan gelen kalıtımsal olmayan sakatlıklara yol açma riskini artırıp artırmadığı, solunduğunda, yendiğinde veya deriye nüfuz ettiğinde, kalıtsal genetik bozukluklara yol açan veya yol açma riskini artırıp artırmadığı hususları incelenmektedir (AYY,2015).

Atıkların tehlikelilik özelliklerinin belirlenmesi amacıyla yapılacak çalışmalarda malzeme güvenlik bilgi formları, proses girdileri ve bilgileri, Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığı tarafından yayınlanan kılavuzlar ve Bakanlıkça belirlenmiş olan konsantrasyon değerleri esas alınarak yapılacak analiz çalışmaları kullanılır. Bakanlıkça gerekli görülmesi halinde belirli olan konsantrasyon değerleri mesnet alınarak maden atığı oluşan maden işletmesinin ruhsat sahibi tarafından analiz yaptırılması gerekmektedir. Analiz çalışmaları Bakanlıktan bu konuda yeterlik almış yetkin laboratuvarlarca gerçekleştirilmesi zorunludur. Atıkların tehlikeliliklerinin belirlenmesi için yapılan analiz çalışmalarının sonuçları üretim prosesi, hammadde veya katkı maddelerinde bir değişiklik olmaması halinde 5 yıl süre ile geçerlidir. Ancak, Bakanlık lüzum gördüğü takdirde analiz çalışmasının işletmeci tarafından yenilenmesi esastır. Üretim prosesinde, temin edilen hammadde veya kullanılan katkı maddelerinde bir değişiklik olması halinde ise analizin, yapılan değişiklik tarihinden itibaren 3 ay içerisinde yenilenmesi gerekmektedir (AYY, 2015)

Atığın tehlikeli olup olmadığının tespitinde kullanılan sınır değerlere de bu konuda kısaca değinilmesi uygun olacaktır. Bu bağlamda; Parlama noktası 55 ^{o}C'den büyük olması, yüksek seviyede zehirli (toksik) olarak sınıflandırılan bir ya da birden fazla maddedeki toplam konsantrasyonun ≥ %0,1 olması, zehirli

(toksik) olarak sınıflandırılan bir ya da birden fazla maddedeki toplam konsantrasyonun ≥ %3 olması, zararlı olarak sınıflandırılan bir ya da birden fazla maddedeki toplam konsantrasyonun ≥ %25 olması, ayrıca insan sağlığına(göz, cilt, solunum sistemi vb.) belirli oranda bulunduğu takdirde olumsuz etki edebilecek değerlere de bakılmaktadır (AYY, 2015).

Madenlerin aranması, çıkarılması, işleme tabi tutulması veya depolanması sonucu oluşan atıklar hariç olmak üzere, atıkların tehlikelilik özelliklerinin belirlenmesine ilişkin yapılacak analizlerde maddenin mineralojik yapısında bulunan bileşiklerden, sadece inorganik fazındakiler için tahriş edici ve zararlı özelliklerinden dolayı, bu iki durum için (atıklar) tehlikeli olarak tanımlanmamaktadır.

3.1.2. Atık yönetimi planı ve dahili acil eylem planı hazırlanması

Madencilik faaliyetlerini yürütmekte olan maden işletme sahibi tarafından, faaliyetler sonucu çıkan maden atık miktarının öncelikli olarak miktarının azaltılması, döngüsel ekonomi gereği geri kazanımı, yeniden kullanımı, maden sahası dışında başka bir alanda ikincil hammadde olarak kullanılması ve bertarafı için süreci gösteren atık yönetim planını ÇED Raporu veya Proje Tanıtım Dosyası ekinde Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği Bakanlığına veya Çevre, Şehircilik ve İklim Değişikliği İl Müdürlüğüne sunmak yükümlülükleri arasındadır. Ayrıca işletme sahibi atık yönetim planını beş yılda bir gözden geçirmek zorundadır. Bu hususların dışında olası bir acil durum için “dahili acil eylem planı” hazırlaması ve burada yer alan hususlar çerçevesinde süreçleri yürütmesi gerekmektedir (MAY,2015).

Bu bağlamda hazırlanması gereken atık yönetim planında bulunması gereken bilgiler kısaca Çizelge 1.’de gösterilmektedir.

Çizelge 1. Atık yönetim planında bulunması gereken bilgiler

Yer bulduru haritası	1/25.000 ölçekli haritada tesisin yeri ve koordinatları olacak şekilde gösterilmelidir
Vaziyet planı	Tesis için teknik ve idari kısımlar bulunacak şekilde ölçekli şekilde gösterilmelidir
Cevherleşme bilgileri	Cevherin bulunduğu formasyon, cevherleşme yapısı vb. diğer hususlar bu kısımda açıklanmalıdır
Atığın fiziksel ve kimyasal özellikleri	Madencilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan atıkların fiziksel ve kimyasal özellikleri açıklanmalıdır
Kullanılacak kimyasallara dair bilgiler	İşleme sürecinde kullanılacak kimyasal maddelerin adlandırmaları ve özellikleri açıklanmalıdır
Depolama bölgesine dair bilgiler	Atığın saklanacağı alan için jeoteknik etüt, jeokimyasal özellik analizi vb. bilgiler verilmelidir
Acil eylem planı	Dahili acil eylem planı da plan içinde verilmelidir
Atık bilgileri	Karakterizayon, miktarı ve tesis sınıfı açıklanmalı
Alınacak önlemler	İnsan sağlığı, iş güvenliği ile ilgili işletme dönemi ve kapatma sonrası alınacak önlemler detaylı olarak verilmelidir
Geri dönüşüm	Atığın döngüsel ekonomiye uygun olarak yeniden kullanılması durumunda teknik bilgiler verilmelidir
İzleme planı	Çevresel faktörler izleme planın da açıklanmalıdır

Atık yönetim planı içinde olması gereken işçi sağlığı ve iş güvenliği hususuna dair hükümlerinde yer aldığı acil durumlarda yapılması gerekenlerin detaylandırıldığı dahili acil eylem planında bulunması gerekenler ise Çizelge 2.'de verilmiştir (MAY,2015).

Çizelge 2. Dahili acil eylem planında bulunması gereken bilgiler

Politika hedefleri	Madencilik faaliyetleri yürütücüsü tarafından oluşması muhtemel kazaların engellenmesine yönelik hedeflerin ve ilkeler burada açıklanmalı
Güvenlik yönetim sistemi	Önleme politikası çerçevesinde bir yönetim sistem oluşturulmalı ve burada sorumluluklar vb. bilgiler belirtilmelidir
Eylemsel bilgiler	Sorumlu yönetici, önemli personel, araç- gereç vb. bilgiler gösterilmelidir
Yetkinlik	Eylem planında belirtilen görevlere uygun olarak personele eğitim verilmeli ve sertifikalandırılmalı
Önlemler	İş sağlığı, güvenliği ve çevre açısından olası kazaların engellenmesi için alınacak tedbirler ve kazaların uzun dönem etkileri ile ilgili hususlar bu kısımda detaylandırılmalıdır

Dahili acil eylem planında çevre/yöre halkının bilgilendirilmesine yönelik çalışmaların yapılması bunun yanında yerel kamu otoriteleri ile doğru ve etkin iletişim önem arz etmektedir. Bu hususlara yönelik çalışmalar da eylem planı içinde bulundurulmalı ve iletişim kanallarının doğru kullanılması gerekmektedir.

Maden atık yönetim planı ve dahili acil eylem planı, faaliyetler esnasında oluşması muhtemel kazalarda gerekli önlemlerin ivedilikle alınmasında (doğru şekilde uygulandığı takdirde) önemli bir teknik belge olarak yer almaktadır. Bu belgelerin dışında afet ve acil durum farkındalığının yaygın hale gelmesi de söz konusu önlemlerin alınmasında yaşanacak olumsuz durumların önüne geçecektir.

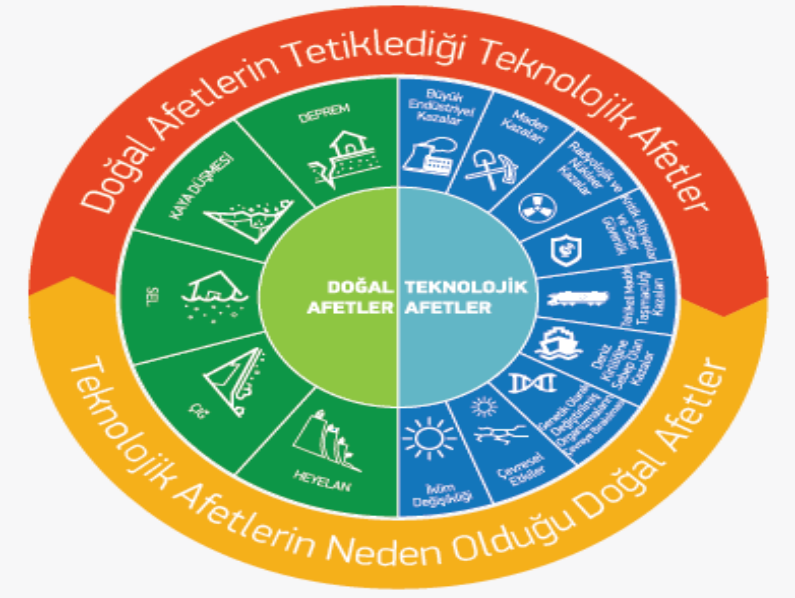
3.2. AB Perspektifinden Afet ve Acil Durum Farkındalığı

1985'te İtalya'nın başkenti Roma'da düzenlenen toplantı ile AB üye ülkeleri arasında afetlerden korunma alanındaki iş birliği süreci başlatılmıştır. 11 Eylül 2001 tarihinde ABD'de yaşanan terör olayları sonrasında riskler, uyarılar ve müdahaleler kapsamında AB mevzuatı afet farkındalığı yeniden düzenlenmiştir. AB'nin afetlerden korunma alanındaki iş birliğini geliştirmek,

doğal ve teknolojik afetlerde, insanların, varlıkların ve çevrenin daha iyi korunmasını sağlamak esas alınmıştır (AFAD,2014).

Buna bağlı olarak Aday Ülke olan Türkiye uyumlaştırma süreci çerçevesinde ulusal mevzuatını ve prosedürlerini AB yasalarına uygun hale getirmeye devam etmektedir. 5902 sayılı kanun ile afet, acil durumlar ve sivil savunmanın ulusal seviyede yeterli olacak şekilde yürütülmesi hususunda gereken tedbirler ve önleyici faaliyetler ile tüm kurum ve kuruluşlar arasında doğru iletişimin sağlanması için Afet ve Acil Durum Başkanlığı (AFAD) görevlendirilmiştir. Bu bağlamda afet farkındalığının toplumsal düzeyde artırılması için tüm sektörlere yönelik çalışmalar AFAD Başkanlığı ve Valilikler bünyesindeki Afet ve Acil Durum İl Müdürlükleri tarafından yürütülmektedir (AFAD,2014).

Afet farkındalığı ile ilgili olarak afetlerin sınıflandırılması ve aralarındaki ilişkinin gösterilmesi öncelikli olarak değerlendirilmektedir.



Şekil 1. Afetlerin sınıflandırılması ve ilişkisi (AFAD,2014)

Burada görüldüğü üzere maden kazaları teknolojik afetler arasında yer almaktadır. Afet ve acil durumlarda yürütülmesi gereken süreçlerin bütünleşik

afet yönetimi döngüsü içerisinde sürdürülmesi ise iş güvenliği, insan sağlığı ve çevresel felaketlerin etkisinin azaltılmasında önem arz etmektedir. AFAD Başkanlığı tarafından uygulanan "Afet Yönetim Döngüsü" şekil 2.'de verilmiştir.

Şekil 2. Afet yönetim döngüsü (AFAD, 2014)

Toplumun tamamını veya belirli bir kesiminde fiziksel, ekonomik ve sosyal açıdan olumsuzluk oluşturan, süregelen hayatı ve insani etkinlikleri sekteye uğratan doğa, teknoloji veya insan kaynaklı olaylara afet denilmektedir (AFAD, 2021). Afet bir olayın kendisi olarak algılanmamalı ve doğurduğu sonuç olarak değerlendirilmelidir. Afetin meydana gelmesinde iki temel koşu bulunmaktadır. Bunlardan ilki bir tehlikenin olması, diğeri ise tehlikenin oluşturacağı olay yüzünden riske uğrayacak bir yerleşim yerinin, buradaki alt yapı veya üst yapı ya da diğer büyük yatırımların ya da bu bölgede bulunan tarihi, turistik kültürel varlıkların zarara uğramasıdır. Kuraklık, küresel iklim değişikliği vb. afetler dışında kalan afetlerin 3 önemli ortak özelliği bulunmaktadır. Afetler ani gelişir, bir bölgeyi etkiler ve gündelik hayatı kesintiye uğratır (AFAD,2021).

Afet terimi, Birleşmiş Milletler tarafından "Herhangi bir tehlikenin can, mal, çevre, ekonomi ve kültürel varlıklar üzerinde yarattığı kötü etkilerle baş

etmeye yerel imkânların yetmediği durumlar" olarak tanımlanmaktadır (AFAD,2021).

Teknolojik afetler arasında yer alan maden kaynaklı kazalar ile ilgili olarak acil durumlarda yürütülmesi gereken süreçlerin doğru şekilde uygulanması ile olası kaza etkilerinin azaltılmasına etken sağlanabilmektedir. Bu bağlamda maden atıklarından kaynaklı oluşabilecek kazalarda afet/ acil durum farkındalığı büyük önem taşımaktadır.

3.3. AB Perspektifinden Atık Yönetimi

1992 yılında Avrupa Birliği adını alan Avrupa Ekonomik Topluluğu (AET) ya da yaygın biçimli kullanımı ile AT 15 Temmuz 1975'te 75/442/EEC sayılı Atık Çerçeve Direktifi ile bu konudaki ilk kapsamlı direktifini üye ülkelere duyurmuştur. 1991 yılında yayınlanan Tehlikeli Atık Direktifi ve 1996 yılında yayınlanan Tehlikeli Maddeleri İçeren Büyük Kazaların Kontrolü Direktifi (96/82/EC- Seveso III Directive) ile atık yönetiminde yürütülmesi gereken süreçleri ve oluşabilecek büyük kazaları önlemeye yönelik yapılması gereken süreçleri uygulamaya koymuş ve üye ülkelere yükümlülüklerini bildirmiştir (AFAD,2014).

15 Mart 2006 tarihinde ise 2006/21/EC sayılı direktif ile madencilik faaliyetleri sonucu ortaya çıkan tehlikeli atıkların bertarafı için yürütülmesi gereken hususlara yönelik yükümlülükler aday ülkeler de dahil olacak şekilde uygulamaya konulmuştur. Direktif ile atık yönetiminde döngüsel ekonomi modeli olarak geçen sıfır atık prensibi benimsendiği görülmektedir. Çevre, insan sağlığını ve iş güvenliğinin sağlanması için kaza tehditlerine dair kaza önleme politikalarını belirlemekte bu direktifin içinde yer almaktadır. Devam eden süreçte 2009/360/EC sayılı Komisyon Kararları kabul edilmiş ve bu komisyon kararları ile atık karakterizasyonunun belirlenme süreçleri üye/aday ülkeler ile paylaşılmıştır. Ayrıca 2009/359/EC Komisyon kararı ile de inert (etkisiz) atıklar

ile ilgili yürütülecek süreç düzenlenmiştir (AB,2018). 15/07/2015 tarihinde yayımlanan ve yönetmelik hükümlerinin yürürlük tarihi 15/07/2017 olan Maden Atıkları Yönetmeliği ile de Aday Ülke Türkiye'nin maden atık yönetiminde iş güvenliği, insan sağlığı ve çevre açısında alması gereken önlemler, uygulama esasları ile birlikte mer'i mevzuata girmiştir.

Maden atık yönetiminde en iyi tekniklerin nasıl olması gerektiği ve iyi uygulama örneklerinde nasıl süreçler yürütüldüğü ile ilgili AB bünyesinde raporlar ve rehberler hazırlanmaktadır. Bu raporlarda Aday Ülke Türkiye'de faaliyet gösteren madencilik faaliyetlerinin yürütüldüğü sahalarda (Efemçukuru Altın Madeni vb.) incelenmekte ve atık yönetimindeki durumuna dair bilgiler verilmektedir (AB,2018).

Standartlaştırılmış ve bir otoritenin onayladığı yönetim sistemlerinin oluşturularak, bu sistemi mesnet kabul ederek çalışmanın iş güvenliğine etkisinin olumlu olacağı belirtilmektedir.

Bu kapsamda hazırlanacak olan maden atık yönetimi için bütünleşik yönetim sisteminde; risk yönetimi, atık envanteri yönetim araçları, QA/QC gibi kalite kontrol sistemleri ve karşılaştırma sistemlerinin olması gerektiği belirtilmektedir (AB,2018).

Bu yönetim sistemi üç aşama olarak, planlama ve tasarım, işletme ve kapatma dönemlerini kapsamaktadır (AB,2018).

Görüldüğü üzere AB perspektifinde maden atık yönetiminin doğru uygulanması için farkındalık çalışmaları sürekli gelişim içinde devam etmektedir.

3.4. Atık Bertaraf Tesislerinde İnsan Sağlığı, Çevre ve Güvenlik İçin Alınması Gereken Özel Tedbirler

Sülfürlü cevherler olarak adlandırılan bakır, kurşun, çinko ile içeriğinde bu madenelerin bulunduğu pirit, kalkopirit, sfalerit gibi kompleks madenlerin zenginleştirilmesi sebebi ile ortaya çıkan maden atıklarının bulunduğu pasalar asit

üretici potansiyele sahip olarak görülmektedir. Bu sebeple bu tesislerde tamponlama yapılması ya da sızıntı sularının toplanarak çevresel izleme için tedbilerin alınması gerekmektedir (ÇYGM, 2018).

Zenginleştirme prosesinde yığın liçi yöntemi bulunan maden işletme tesislerinde maden atıklarının karakterizasyonunun yapılabilmesi için atık üretimine başlanılmasından sonra analizlerin yaptırılması sonucu karakterizasyon ve atık kodu tayin edilmesi uygun olarak değerlendirilmektedir (ÇYGM, 2018).

Pasalar için asit maden/kaya drenajı potansiyeline ilişkin sülfit-sülfür analizi yapılarak eşik değerlere göre değerlendirme yapılması esas olarak belirtilmektedir. Ayrıca pasalar için sızıntı suyu liç testlerinin yapılmasına gerek bulunmamaktadır (ÇYGM, 2018).

Atıkların/Pasaların karakterizasyonuna istinaden uygulanacak testlerde atık miktarı uyarınca numune sayısı alınması esastır. Buna göre 10.000 mt'den az pasa miktarı var ise 3 adet, 10.000-100.000 mt arası pasa miktarında 8 adet, 100.000-1.000.000 mt pasa miktarında 26 adet ve bu miktarın üstünde 80 adet numune alınması gerekmektedir (ÇYGM, 2018).

Zenginleştirme sürecinde yığın liçi kullanılan tesislerde risk analizinde yapılan incelemelerde çözelti havuzları cevher yığının birlikte değerlendirilmesi esastır. Bu analizde, yıkıcı deprem durumu ve yağış taşıma kapasitesi de Q10000 olacak şekilde değerlendirilmelidir (ÇYGM, 2018).

Asit üreten paşaların depolandığı alan ile ilgili olan uygulama projelerinde, zemin etüd raporu, şevler hakkında stabilite analizi, depremsellik risk analizine dair hazırlanmış rapor, sızıntı suları ile ilgili olarak söz konusu suların toplanması için oluşturulacak drenaj sistemi ve sızıntı suyunun toplanacağı havuz ile ilgili bilgiler, ayrıca kesit ve paftalar, üst örtü sızdırmazlık sistemine ilişkin bilgi, kesit ve paftalar, gözlem kuyularının yerlerine ilişkin kesit ve paftalar bulunmak zorundadır (ÇYGM, 2018).

Madencilik faaliyetlerinden kaynaklı atıkların depolandığı bertaraf tesislerinde sağlık ve güvenlik için şev eğiminin en fazla ½ oranda, basamak yüksekliğinin ise en fazla 20 m. olacak şekilde tasarımlandırılması uygun bulunmaktadır. Palyeler 5 m. uzunlukta ve geosentetik uzunluğu ise 7 m. olarak tasarlanması zorunludur (ÇYGM, 2018).

4.SONUÇ VE ÖNERİLER

Döngüsel ekonomi modelinin giderek yaygınlaştığı günümüzde sıfır atık konsepti ile atık yönetimi sağlanması için süreçlerin geliştirmesi devam etmektedir. Önce insan ve çevre, sonra maden ilkesi ile günümüzde politikaların ön plana çıktığı bilinmektedir. Sürdürülebilir madencilik için çevre ve insan sağlığının öncelikli olması gerekmekte olup, bunun yanında ekonomik kalkınmanın sağlanmasında verimli şekilde madenlerin üretimi zorunluluk olarak ortaya çıkmaktadır.

AB mevzuatı gereği yapılan incelemede; AB'nin öncelikli olarak "Sıfır Atık" konseptinin uygulanması için çalışmalar yapılmasını önermektedir. Ancak son seçenek olarak atık bertarafı yapılması durumunda neler yapılması gerektiği ile ilgili olarak sürekli yeni teknolojilerin gelişimi için çalışmalar sürdürülmektedir. Atık bertaraf tesislerinin hangi kıstaslar gözetilerek kurulmasından kapatmasına kadar sürece dair kapsamlı rehberler hazırlanmakta ve direktifler ile üye/aday ülkelerin mevzuatlarının uyumlu olarak geliştirilmesinde öncü olmaktadır.

Bu bağlamda ülkemizde yasal mer'i mevzuat AB direktiflerince geliştirilmekte ve çevre, iş güvenliği ve insan sağlığı için atık bertaraf tesislerinin hangi koşullara uygun olarak kurulması, atık karakterizasyonu ve işletme sürecinde yapılması gerekenler ve kapatma sonrasında oluşacak duruma dair önlemler mevzuatımızda yer almaktadır.

Türkiye'de 2011 yılında Kütahya, 2021 yılında Balıkesir, Giresun, 2022 yılında Mersin ve 2024 yılında Erzincan'da yaşanan kazalarda çevre, insan sağlığı ile ilgili hususlarda afet/acil durum farkındalığının üst düzeyde tutulmasının önemli olduğunu bize göstermektedir. Ayrıca Brezilya'da 2019 yılında yaşanan facianın sonuçları göz önünde bulundurulduğunda afet ve acil durumların yanında bilimsel ve teknik yaklaşımla atık yönetim sürecinin yürütülmesinin zorunlu olduğu hususun tüm paydaşlarca içselleştirilmesi gerekmektedir (GH, 2011,2019, 2021, 2022, 2024).

Şekil 3. Giresun atık havuzu kazası (GH, 2021)

Afet farkındalığının AB uyum yasaları çerçevesinde yürütüldüğü Türkiye'de yaşanabilecek olumsuzluklarda afet farkındalığının yüksek düzeyde tutulması koordinasyon ve hızlı müdahale ile yapılması sayesinde maden atık bertaraf tesislerinde kaza sonucu oluşabilecek olumsuz koşullar en asgari düzeye indirilebilmeye imkân sağlayacaktır.

Bu bağlamda atık yönetiminde ve afet/acil durum farkındalığından AB perspektifinden süreçlerin sürekli geliştirilmesi sayesinde gelecek yıllarda ekonomik kalkınmada esas olan madencilik faaliyetlerinin çevre, insan sağlığı ve iş güvenliği için daha olumlu koşullarda yapılmasına katkı sağlayacaktır.

KAYNAKLAR

AB, (2006). Directive 2006/21/EC of The European Parliament And Of The Council, https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2006/21/oj/#ntr12-L_2006102EN.01001501-E0012 Erişim tarihi:01.03.2025

AB, (2018). Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Management of Waste from Extractive Industries, https://ec.europa.eu/environment/pdf/waste/mining/MWEI%20BREF.pdf Erişim tarihi:01.03.2025

AFAD, (2014). Maden ve Maden Atıklarından Kaynaklı Kazalar Yol Haritası Belgesi, https://www.afad.gov.tr/kurumlar/afad.gov.tr/3908/xfiles/maden-son.pdf Erişim tarihi:01.03.2025

AFAD, (2021). Afet Farkındalık Eğitimi, https://www.youtube.com/watch?v=IPkQdDeW6Xg Erişim tarihi:01.03.2025

ÇYGM, (2018). Maden Atıkları Yönetmeliğinin Uygulanmasına İlişkin Açıklamalar, https://cygm.csb.gov.tr/maden-atiklari-yonetmeliginin-uygulanmasina-iliskin-aciklamalar-duyuru-342821 Erişim tarihi:01.03.2025

Google Haberler, (2011,2019,2021,2022,2024) https://news.google.com/search?q=at%C4%B1k%20havuzu%20kazalar%C4%B1&hl=tr&gl=TR&ceid=TR%3Atr Erişim tarihi:04.04.2025

Resmî Gazete, (2015). Atık Yönetimi Yönetmeliği, https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=20644&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5 Erişim tarihi:01.03.2025

Resmî Gazete, (2015). Maden Atıkları Yönetmeliği, https://www.resmigazete.gov.tr/eskiler/2015/07/20150715-3.htm Erişim tarihi:01.03.2025

TRAKYA BÖLGESİNDEKİ MEKANİZE KÖMÜR ÜRETİMİ YAPAN BİR YERALTI KÖMÜR MADENİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ RİSK YÖNETİMİ

OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY RISK MANAGEMENT IN A MECHANIZED UNDERGROUND COAL MINE IN THE THRACE REGION

Oktay Yazıcı, İbrahim Durna, Gazi Karşı, Ömer Varol, Sedat C. Tosmak
Kiremitçiler Gurup Özşen Maden İşletmeleri San. ve Tic. Ltd. Şti

ÖZ: Bu çalışmada, Trakya Bölgesi'nde faaliyet gösteren Kiremitçiler Grup Özşen Maden İşletmeleri'ne ait yeraltı kömür madeninde uygulanan iş sağlığı ve güvenliği risk yönetimi süreçleri incelenmiştir. Araştırma kapsamında, mekanize ayak kömür üretimi, üretim öncesi hazırlıklar ve diğer yardımcı faaliyetlerde karşılaşılabilecek tehlike ve risklerin belirlenmesi, sınıflandırılması ve değerlendirilmesi ele alınmıştır.
Yeraltı mekanize ayak hazırlıkları, geri dönümlü mekanize ayak yöntemiyle kömür üretimi, kömürün yerüstüne taşınması ve bu süreçlerde yer alan yardımcı faaliyetler detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Çalışmada, söz konusu faaliyetler sırasında ortaya çıkabilecek tehlikeler belirlenerek gruplamış ve bu tehlikelerden etkilenebilecek çalışan grupları da analiz edilip mevcut önlemler ve uygulamalar dikkate alınarak risk değerlendirme yöntemleri açıklanmıştır.
Belirlenen ve derecelendirilen riskler 13 ayrı gruba ayrılarak incelenmiş, mevcut önlemlere ek olarak önerilen kontrol tedbirleri, planlanan eylem ve süreçlerle birlikte örneklendirilmiştir. Bu çalışmalar, süreklilik arz eden bir yapı içerisinde ele alınmakta olup, iş sağlığı ve güvenliği yönetimi ile risk yönetimi süreçleri arasında yer alan sürekli iyileştirme prensibi doğrultusunda yürütülmektedir.
Kiremitçiler Grup Özşen Maden İşletmeleri yeraltı kömür işletmesinde mekanize ayak kömür üretiminde güvenli bir işyeri oluşturabilmenin temelinde iyi bir risk yönetimi çalışması bulunmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Kömür madeni, risk yönetimi, mekanizasyon.

ABSTRACT: *In this study, the occupational health and safety (OHS) risk management processes implemented at the underground coal mine operated by Kiremitçiler Group Özşen Mining Enterprises, located in the Thrace Region, were examined. The research focuses on the identification, classification, and evaluation of potential hazards and risks associated with mechanized longwall*

coal production, preparatory activities conducted prior to production, and other auxiliary operations.
The study provides a detailed analysis of underground mechanized longwall face preparation, coal production using the retreat longwall mining method, coal transportation to the surface, and supporting activities within these processes. Hazards that may arise during these operations were identified and categorized. The worker groups potentially exposed to these hazards were also analyzed, and the risk assessment methods were explained by taking into account existing preventive measures and practices.
The assessed and rated risks were grouped into 13 categories, and additional control measures, planned actions, and processes were proposed and exemplified in relation to current practices. These efforts are carried out within a continuous improvement framework, which constitutes a key principle of the integrated approach between occupational health and safety management and risk management systems.
At the core of establishing a safe working environment for mechanized longwall coal production in the Kiremitçiler Group Özşen underground coal mine lies a well-structured and effective risk management approach.

Keywords: *Coal mine, risk management, mechanization.*

1. GİRİŞ

Trakya bölgesindeki Kiremitçiler Grup Özşen Maden İşletmeleri yeraltı kömür işletmesinde mekanize ayak kömür üretimi, kömür üretimi için yapılan hazırlıklar ve diğer yardımcı faaliyetlerde olabilecek tehlike ve risklerin belirlenmesi, gruplanması, bu tehlike ve risklerden etkilenebilecek çalışanlar, mevcut önlemler ve uygulamalar da dikkate alınarak Risk Yönetimi anlatılacaktır. Bir yeraltı kömür madeninde işletme ve işletme çalışanlarını etkileyen birçok tehlike ve bu tehlikelerden kaynaklanan riskler mevcuttur. Bu tehlike ve tehlikelerden kaynaklanan risklerin çok iyi analiz edilmesi, her biri için kontrol tedbirlerinin alınması ve değişen durumlara göre de sürekli takibinin yapılması gerekmektedir. Bu tedbirlerin en alt çalışanlardan başlayarak en üst yöneticiye kadar tüm kademelerde tehlike ve risklere karşı önlem ve tedbirlerin uygulanması iyi bir risk yönetimi ile mümkündür.

1.1. Risk Yönetimi Nedir?

Tehlike; "İnsanların yaralanmasına veya sağlıklarının kötüleşmesine neden olma potansiyeline sahip kaynak, durum veya eylem"

Risk; "İşle ilişkin tehlikeli olay veya maruziyet(ler)in meydana gelme olasılıklarının ve bu olay veya maruziyetin neden olabileceği yaralanma veya sağlık durumunda kötüleşmenin ciddiyet düzeyi"

Risk Değerlendirme; Risk değerlendirme tehlikelerin saptanması, bunların oluşturduğu riskin analizi ve sonra riski ortadan kaldırma veya kontrol etmeye yönelik bir süreçtir.

Risk yönetimi terimi, 'Riske ilişkin olarak bir kuruluşun yönlendirilmesi ve kontrolü için koordineli faaliyetler" olarak tanımlanmaktadır. Risk Yönetimi; Bir organizasyonun risklerinin belirlendiği, değerlendirildiği, önceliklendirildiği, risklerin yönetilmesi için stratejiler ve planların geliştirilerek uygulandığı sistemli ve planlı bir süreçtir.

1.2. Madenlerde İş Sağlığı ve Güvenliği Alanında Risk Yönetimi

Madenlerde iş sağlığı ve güvenliği kapsamında risk yönetimi, madencilikte oluşabilecek iş kazalarını ve meslek hastalıklarını en aza indirmek için tehlikelerin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve kontrol altına alınması süreçlerini içerir. Bu sistematik yaklaşım, hem çalışanların güvenliğini sağlamayı hem de işletmenin sürekliliğini korumayı hedefler.

Risk yönetiminin amaçları; Olay yada kazayı yok ederek veya seviyesini azaltarak çalışanların sağlık ve güvenliğini sağlamak, işletmenin sürekliliğini korumak, kanun, yönetmelik ve uluslararası standartlar kapsamında uygunluk göstermek için gereken tedbirleri belirlemektir.

- Ölümleri veya kişisel yaralanmaları önlemek
- Diğer tip kayıplara neden olan kazaları önlemek

- Kanunlara, yasal uygulamalara ve hatta yargı kararlarına uygunluk göstermek
- Kazalardan kaynaklanan doğrudan ve dolaylı maliyetleri önlemek

2. ÖZŞEN MADEN İŞLETMELERİNDE RİSK YÖNETİMİ SÜRECİ

Yeraltı mekanize yöntemle kömür üretimi çalışmalarında iş sağlığı ve güvenliği kapsamında risk yönetimi, oluşabilecek iş kazalarını ve meslek hastalıklarını en aza indirmek için tehlikelerin belirlenmesi, değerlendirilmesi ve kontrol altına alınması süreçlerini içerir. Bu sistematik yaklaşım, hem çalışanların güvenliğini sağlamayı hem de işletmenin sürekliliğini korumayı hedefler. Risk Değerlendirmesinin adımları

Adım 1. Tehlikeleri belirleme

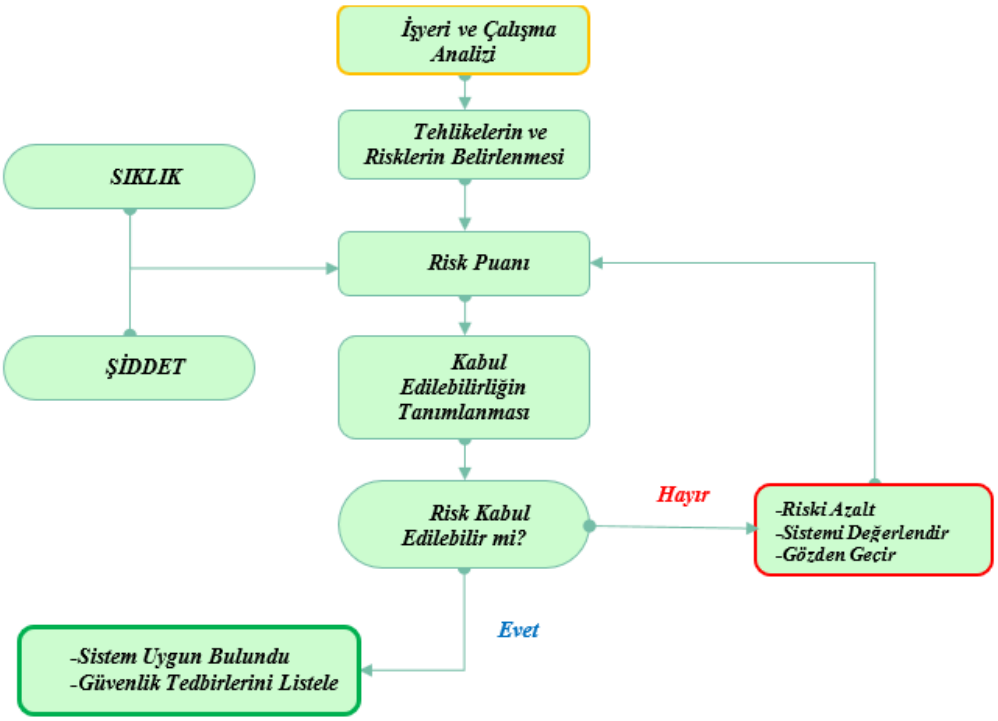
Adım 2. Tehlikelerden kaynaklanan Riskleri Belirleme

Adım 3. Risk Altındakilerin Belirlenmesi

Adım 4. Mevcut Durumda Riskleri değerlendirilmesi ve Önlemlere karar verme

Adım 5. Kaydetme

Adım 6. Gözden Geçirme



Şekil 1. Risk Yönetim ve Değerlendirme Süreci

2.1. Risk Değerlendirme Ekibi

Risk değerlendirmesi, İşverenin oluşturduğu bir ekip tarafından gerçekleştirilir. Risk değerlendirmesi ekibi aşağıdakilerden oluşur.

a) İşveren veya işveren vekili.

b) İşyerinde sağlık ve güvenlik hizmetini yürüten iş güvenliği uzmanları ile işyeri hekimleri.

c) İşyerindeki çalışan temsilcileri.

d) İşyerindeki destek elemanları.

e) İşyerindeki bütün birimleri temsil edecek şekilde belirlenen ve işyerinde yürütülen çalışmalar, mevcut veya muhtemel tehlike kaynakları ile riskler konusunda bilgi sahibi çalışanlar.

2.2. Tehlikelerin ve Bu tehlikelerden Gelebilecek Risklerin Belirlenmesi

Özşen Maden İşletmeleri yeraltı kömür işletmesinde mekanize ayak kömür üretimi, kömür üretimi için yapılan hazırlıklar, diğer yardımcı faaliyetlerde

olabilecek zarar şekli ve kaynakları; madencilik tekniği, çalışma ortamı verileri, mevzuat, olay verileri iş ekipmanlarında üreticiden gelen bilgiler vb. doğrultusunda belirlenerek 13 başlık altında toplanmıştır.

Risk Yönetimi ve Değerlendirme Ana Başlıkları

1. Genel Konular ve Güvenli Davranış
2. Havalandırma
3. Yangın ve Patlama
4. Tahkimat
5. Nakliyat
6. Makine ve Ekipman
7. Elektrik ve Aydınlatma
8. Diğer Fiziksel Tehlikeler
9. Kimyasal ve Biyolojik Tehlikeler
10. Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıkları
11. Psiko-Sosyal Stres Faktörleri
12. İlkyardım ve Acil Durum Hazırlıkları ve Sosyal Tesisler
13. Diğer Tehlikeler.

2. 3. Risk Altındakilerin Belirlenmesi

Tespit edilmiş olan tehlikelerin her biri ayrı ayrı dikkate alınarak bu tehlikelerden kaynaklanabilecek risklerin hangi sıklıkta oluşabileceği ile risklerden kimlerin, nelerin, ne şekilde ve hangi şiddette zarar görebileceği belirlenir. İşçiler, operatörler, bakım personelleri, yöneticiler, yükleniciler, ziyaretçiler, çevre toplum üyeleri gibi risklerden etkilenenler belirlenir.

Çalışanların bilgilendirilmesi, olası tehlike ve risklere karşı önlem alabilmeleri için hayati önemdedir. Maden ile ilgili Milli Eğitim Bakanlığı e-yaygın eğitimlerinde bulunan 47 Madencilik ve Maden çıkarma meslek dallarının yetkinlikler kısmı incelendiğinde yaptığı işle ilgili tehlike risklerin farkında olması en temel gerekliliklerdendir. Tüm maden çalışanı personelin, risk yönetimi

sürecinin özelliğine ve mantığına aşina olması önemlidir. Risk yönetimi süreci; önemli şirket kararlarına uygulanabildiği gibi, çalışanların her birinin iş ortamındaki bir değişiklik gibi günlük kararlarına da uygulanabilmektedir

2. 4. Riskin, Mevcut Önlem ve Kontrollerin Yeterliliğinin Değerlendirilmesi

Bir tehlike ve bu tehlikeden kaynaklanabilecek riskler ve potansiyel hedef kişiler ve etkilenebilecekler saptandıktan sonra risk değerlendirme sürecinde atılması gereken adım tehlikenin oluşturduğu riskin kabul edilebilir mi yoksa azaltılması gereken düzeyde mi olduğunun saptanmasıdır. Risk aşağıdaki unsurların bir birleşiminden oluşur;

-Zararın meydana gelme olasılığı

-Zararın şiddet derecesi

5x5 L Tipi Matris Risk Değerlendirme Yöntemi

Matris risk analizi, en basit sistematik yöntemlerden biri olması nedeniyle en çok kullanılan risk değerlendirme yöntemidir. Özellikle küçük ve orta büyüklükteki işler için tercih edilen bu yöntem, bir olayın gerçekleşme ihtimali ile gerçekleşmesi durumunda sonucunun derecelendirilmesi mantığına dayanır.

Risk Puanlama; Risk öznel olduğu için tek bir kesin çıktısı yoktur. Bu nedenle de farklı organizasyonlar olasılıklar ile şiddet tanımları ve sayıları için kendi özel sistemlerini kullanırlar.

Risk = Olasılık x Şiddet

Olasılık, yaralanmaya veya sağlığın kötüleşmesine neden olabilecek kontrolsüz olayın olma ihtimali demektir.

Risk, tehlike nedeniyle oluşabilecek zararın ve zarar meydana geldiğinde öngörülebilir yaralanma derecesinin olasılıklarının kombinasyonu olarak tanımlanır.

Risk değerlendirmeleri Özşen Maden İşletmeleri Kırköy Kömür İşletmesinde 5x5 L tipi matris metodu ile yapılmaktadır. Riskler nitel şekilde “çok yüksek”, “yüksek”, “orta”, “düşük” veya “önemsiz” olarak tanımlanabilir.

Risk derecesini tanımlayan her bir riske bir puan vererek belirli bir tehlikeye yönelik riski nicel olarak belirlemek mümkündür. Risk matrisi belirli bir konuyla ilişkilendirilen riskin seviyesini anlamanıza yardımcı olur.

Çizelge 1. 5x5 L Tipi Matris RD Riskin Olasılığının Belirlenmesi (Yazıcı, 2016)

5X5 L MATRİS RİSK DEĞERLENDİRME İHTİMAL (OLASILIK) TABLOSU		
1	ÇOK DÜŞÜK	Neredeyse Mümkün Değil (Yılda bir)
2	DÜŞÜK	Az Olasılıkla (Yılda birkaç kez)
3	ORTA	Olasılık Dahilinde (Ayda bir)
4	YÜKSEK	Yüksek olasılık (Haftada bir)
5	ÇOK YÜKSEK	Kaçınılmaz (Her gün)

Çizelge 2. 5x5 Matris Risk Değerlendirmesi Riskin Şiddetinin Belirlenmesi (Yazıcı, 2016)

5X5 L MATRİS RİSK DEĞERLENDİRME ŞİDDET- ETKİ TABLOSU			
		YARALANMA	MADDİ HASAR
1	Çok Hafif	Temas olabilir, ancak yaralanma yok ya da ilkyardım yaralanması	Düşük ekipman veya tesis zararı <5000 TL
2	Hafif	Küçük hasar/yaralanma, tıbbi tedavi gerektiren yaralanma	Ciddi olmayan ekipman veya tesis zararı 5.000TL<Kayıp < 10.000TL
3	Orta	Önemli hasar/yaralanma, Geçici görev değişikliği gerektiren yaralanma,	Alt sistem kaybı veya tesis hasarı, 10.000 TL <Kayıp <100.000 TL
4	Ciddi	Kalıcı hasar/yaralanma, meslek hastalığı ve 3 günden az iş gücü kaybı	Büyük alt sistem kaybı veya tesis hasarı, 100.000 TL <Kayıp <1.000.000 TL
5	Çok Ciddi	Bir veya daha fazla ölüm, sürekli iş görmezlik	Ciddi sistem ve tesis hasarı,> 1.000.000 TL

Çizelge 3. L Tipi (5x5) Risk Skoru Derecelendirme Matrisi (Yazıcı, 2016)

5X5 L MATRİS		ŞİDDET				
		1 ÇOK HAFİF	2 HAFİF	3 ORTA	4 CİDDİ	5 ÇOK CİDDİ
OLASILIK	1 ÇOK DÜŞÜK	1 Düşük	2 Düşük	3 Düşük	4 Düşük	5 Düşük
	2 DÜŞÜK	2 Düşük	4 Düşük	6 Düşük	8 Orta	10 Orta
	3 ORTA	3 Düşük	6 Düşük	9 Orta	12 Orta	15 Yüksek
	4 YÜKSEK	4 Düşük	8 Orta	12 Orta	16 Yüksek	20 Çok Yüksek
	5 ÇOK YÜKSEK	5 Düşük	10 Orta	15 Yüksek	20 Çok Yüksek	25 Çok Yüksek

RİSK DERECESİ	RİSK	ÖRNEK HAREKET
Çok Yüksek	20≤R=25	Kabul Edilemez Risk. İş Durdurulmalı. Önlem Alınıncaya dek başlatılmamalıdır.
Yüksek	15=R<20	Önemli Riskler – Kısa Dönemde Düzeltici önleyici faaliyet gerekli.
Orta	8=R<15	Orta Düzey Riskler- Düzeltici önleyici faaliyet gerekli
Düşük	R<8	Katlanılabilir Riskler- Rutin prosedürlerle yönetilir.

Özşen Maden İşletmeleri San. ve Tic. Ltd. Şti.

1. GENEL KONULAR VE GÜVENLİ DAVRANIŞ

Gerçekleşme Tarihi:	1.03.2025
Revizyon Tarihi:	
Revizyon No:	0 (İlk)
Geçerlilik Tarihi:	1.03.2027

YERALTI RİSK DEĞERLENDİRME

MEVCUT / OLASI DURUM										EYLEM PLANI / DÜZELTİCİ FAALİYET SONRASI DURUM					
NO	TEHLİKE / PROSES / FAALİYET ADI	YAPILAN EYLEM	TEHLİKENİN TANIMI/SEBEBİ	RİSK	KİMLER MARUZ KALABİLİR	MEVCUT ÖNLEMLER	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK PUANI	PLANLANAN ÖNLEMLER	TERMİN	SORUMLU KİŞİLER	OLASILIK	ŞİDDET	RİSK PUANI
11	Genel İş Güvenliği	Ocak yolları	Ocak yolları ve Bu Yolların düzen ve bakımlı	Yayaların kullandığı ve araçlarla malzeme taşımada kullanılan yollarda monoray ile malzeme taşınması esnasında personele malzeme çarpması sonucu yaralanma, ölüm.	Tüm personeller	*Çalışma yerlerine güvenli bir şekilde ulaşabilmek ve acil bir durumda hızlı ve güvenli bir şekilde bu yerleri terk edebilmek için ulaşım yolları mevcuttur. Düzen ve bakımı yapılmaktadır. *Yaya yolları ve taşıma yolları dahil tüm ulaşım yollarında gidiş gelişi zorlaştırıcı engeller ve malzeme dökümtüleri bulunmaması sağlanmaktadır. *Merdivenler, yükleme platform ve rampaları dahil bütün ulaşım yolları, yayalar veya araçlar için kolay, güvenli ve uygun geçişi sağlayacak şekilde dizayn edilmiştir. *Araç trafiğine açık yollar ile kapılar, yaya geçiş yolları, koridorlar ve merdivenler arasında yeterli mesafe bulunmaktadır.	1	5	5	Kontrol ve Denetim	Sürekli	İşletme Müdürü İşletme müdür Yardımcıları, Birima Amir ve Sorumluları Ustalar	1	5	5

Şekil 2. L tipi (5x5) Matris Risk Değerlendirme Formu

2. 5. Risklerin Kontrolü

Değerlendirilen riskler, öncelik sırasına göre kontrol altına alınır. Teknik, yöntemsel ve davranışsal kontrol tedbirleri daha ayrıntılı bir hiyerarşi oluşturmak için detaylandırılabilir. Bu da en uygun kontrol tedbirlerinin seçilmesi için bir araç olarak kullanılabilir. Riskin kabul edilebilir bir seviyeye indirilmesinde bir kontrol tedbiri etkili olabilirken, diğerleri için farklı tipteki tedbirlerin bir birleşimi gerekir.

"Kontrol hiyerarşisi" önem, etkililik, öncelik açısından sıralanmış bir seçenekler listesinden oluşur. Bu listede kontrolün en uç noktadaki ve etkili yöntemi hiyerarşinin en üstünde kalır ve ortadan kaldırmadır. Kontrol önlemleri şu hiyerarşiye göre uygulanır:

a. Ortadan kaldırma; Tehlikenin çalışma alanından tamamen ortadan kaldırılması temel yaklaşımdır. Tehlike mevcut değilse risk de yoktur. Bu da riske neden olan bir faaliyetten tamamen kaçınılarak güvenceye alınabilir. Bazen ortadan kaldırma ikame yöntemiyle yapılır. Örneğin, işçiler yüksekte çalışmaktan mümkün oldukça kaçınmalılardır.

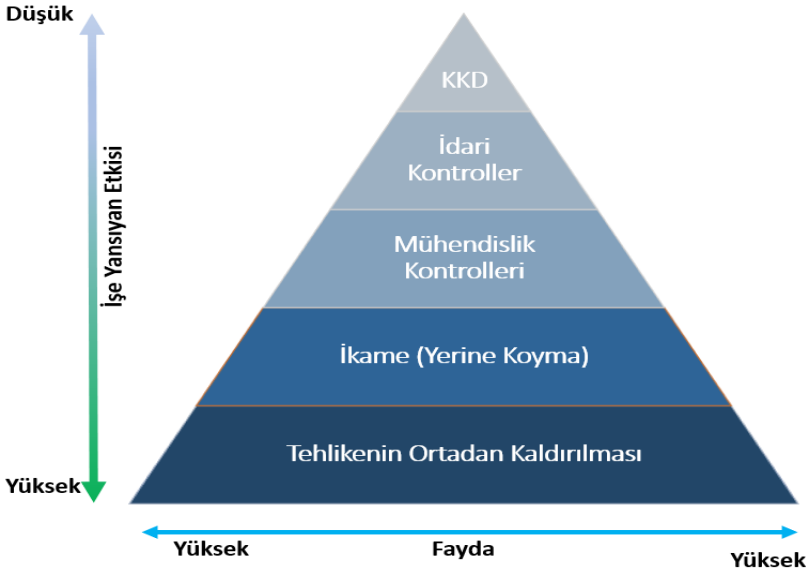
b. İkame; Tehlikenin ortadan kaldırılamadığı durumlar vardır, Belirli bir tehlikenin daha az tehlikeli ile ikame edilmesi riski azaltır. Örneğin, daha tehlikeli bir kimyasal madde yerine daha az tehlike içeren muadilinin kullanılması.

c. Mühendislik kontrolleri; Mühendislik çözümleri sayesinde riskler önlenebilir veya azaltılabilir. Bu mühendislik çözümleri aşağıdakileri içerebilir; Dış ortamı etkileyen gürültü seviyesini azaltmak için çok gürültülü bir ekipmanın bir kabin içine yerleştirilmesi, Fazla toza sebep olan işlerde havalandırma ve azaltıcı sistemlerin kullanılması, Operatörün uzaktan çalışmasını sağlayan çeşitli kontrol sistemleri, Güvenlik ekipmanları.

d. İdari Kontroller; Çalışan davranışlarını değiştirmeye yönelik politika, prosedür ve eğitim yöntemleridir. Bunların hepsi güvenli çalışmanız için prosedürlerin tanımlanması ve uygulanması ile ilgilidir. Riskli alana erişimi

sınırlandırmak, vardiya sürelerini azaltmak, güvenlik talimatları, uyarı levhaları, personel eğitimi ve sertifikalandırma, iş rotasyonu ile maruziyet süresini azaltmak, İşaretler/uyarılar ve/veya idari kontroller; tehlikeli alanlarda cep telefonu kullanmanın yasaklanması, güvenlik işaretlerini arttırmak ve risk analizleri yapmak. Çeşitli işaret ve uyarı tipleri bulunur. İşaret ve uyarılar risk değerlendirme sürecinde dikkate alınmalıdır. Gerekli olduğunda güvenlik işaretleri kullanmayı sürdürmeli, Aşina olmadıkları işaretleri çalışanlara anlatmalı ve güvenlik işaretlerini gördüklerinde ne yapmaları gerektiğini açıklamalılardır.

e. Kişisel koruyucu donanım (KKD); Bazı durumlarda yukarıdaki kontrol önlemleri ya amaca uygun değildir ya da ilave risklere neden olurlar. Bu nedenle bu önlemlerin alınması mantıklı olmaz. Durum böyleyse kişisel koruyucu donanım (KKD) da önlemlerin arasına katılmalıdır. Farklı amaçlar için birçok farklı KKD tipi bulunur: Gürültü koruyucuları; Gürültüyü azaltmak veya ortandan kaldırmak için kulaklıklar, Cilt koruyucuları; Tehlikeli maddelerle teması önleyen eldivenler, Solunum Koruyucuları; Solunan tehlikeli maddelere karşı koruma sağlayan solunum koruyucular, Göz koruyucuları; Kimyasalların sıçramaları, eriyik metaller, spreyler, tozlar, fırlayan cisimler ve parlak ışıklar dahil radyasyona karşı koruma bunlardandır.



Şekil 3. Risk Yönetim Hiyerarşisi (www.hse.gov.uk)

Risklerin diğer yöntemlerle kontrol edilemediği durumlarda her bir işçiye ilave olarak uygun KKD sağlamak, ilişkili risklere ve koşullara uygun, ergonomik ve bireye tam uyum sağlayan, tüm geçerli standartlara uygun olması, kayıp veya hasarlı olanların değiştirilmesi veya tamiri KKD için uygun depolama tesisleri, KKD kullanımına dair bilgi, talimat ve eğitimin işçilere sağlanması iki veya daha fazla KKD bir arada giyildiğinde birbirleriyle uyumlu olması, KKD'nin kullanılmasını zorlamak da gerekmektedir.

Kontrol önlemleri, birlikte ve katmanlı olarak uygulanmalıdır. Ancak her zaman amaç, önce kaynağı yok etmek, mümkün değilse sırayla aşağıya inerek riski yönetmektir.

Aşağıda belirtilen 13 ana başlık altında İş Sağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirme Kontrol Önlemleri örnekler şekilde sıralamıştır. Her başlık altında uygulanan temel kontrol önlem örnekleri yer almaktadır. (Özşen Maden İşletmeleri Faaliyet Raporları)

Çizelge 4. Mekanize Kömür Madeni - Risk Değerlendirme Tablosu

RISK BAŞLIĞI	MEVCUT ÖNLEMLER	KONTROL ÖNLEMLERI	EK AÇIKLAMA	ÖRNEK SENARYO
1. Genel Konular ve Güvenli Davranış	-KKD eğitimi, -İş sağlığı afişleri, -Genel güvenlik brifingleri	-Periyodik davranışsal gözlem, -Simülasyonlu güvenlik eğitimleri	-Davranış temelli güvenlik kültürü oluşturulmalıdır	Yeni başlayan işçinin bir usta başı yanına verilmesi, hatalı duruma Usta tarafından anında müdahale edilir.
2. Havalandırma	Ana ve tali vantilatörlerin periyodik bakımı, Havalandırma Simülasyonu ölçümle teyit etme	Sürekli metan izleme, monoksit izleme, havalandırma izlemenin kontrolü	Metan gazı patlama sınırı %5'tir. %0,5'de alarm, %1'te iş durur.	Mekanize ayakta aniden metan artışı tespit edilmesiyle iş durdurulur.
3. Yangın ve Patlama	Yangın algılama ve söndürme sistemleri, yangın eğitimleri	Otonom yangın bastırma sistemleri, yangına ve patlamaya dayanıklı ekipmanlar ve kontrolü	Kömür kendiliğinden yanabilen veya ısınma kaynaklı yangın riski yüksektir	Kömürün ısınarak duman çıkarması üzerine Gaz izleme sistem otomatik alarm verir.
4. Tahkimat	Hidrolik tahkimat sistemleri, kontrollü göçertme uygulamaları	Tahkimat izleme sensörleri, Yerüstü tasman analizleri	Yeterli tahkimat sağlanmazsa göçük riski vardır	Tahkimatın zamanında ilerlememesi sonucu ayakta kesit daralması ve göçük tehlikesi oluşur.
5. Nakliyat	Raylı sistemler, Konveyör uyarı sinyalleri, eğitimli operatörler	Monoray Otomatik hız sınırlayıcılar, konveyör uyarı sistemleri	Monoray İnsan-yük taşıma çakışmasını önlemek için yönlendirme önemlidir	Lokomotif sürücüsü kör noktada yürüyen işçiye yaklaşır, sensör devreye girer
6. Makine ve Ekipman	Bakım programları, kullanım talimatları	Uyarı Sistemleri, Riskli bölge muhafazaları, arızaları izleyen sistemler	Mekanize kazı makineleri yüksek risklidir	Panoda yürüyen kazı makinesi çalışma alanına girilmesi durumunda kaza olabilir.

7. Elektrik ve Aydınlatma	EX-Proof ekipmanlar, periyodik izolasyon testleri	Topraklama takibi, sürekli izolasyon izleme	Kıvılcım kaynaklı patlama riski yüksektir	Basınç altında sıkışan elektrik kablosu izolasyon kaybıyla kısa devre yapar
8. Fiziksel Tehlikeler	Gürültü ölçümleri, Termal konfor takibi, vibrasyon takibi	Gürültü azaltıcı ekipman sayısı arttırılması, anti-vibrasyon eldivenler	Gürültü seviyesi 85 dB'i geçmemelidir	Uzun süre maruz kalan işçide duyma kaybı oluşur
9. Kimyasal/ Biyolojik Tehlikeler	Toz maskeleri, düzenli temizlik	Sürekli toz ölçüm cihazları, biyolojik etken analizleri	Silikozis riski en yaygın olanıdır	Yetersiz toz bastırma nedeniyle çalışan solunum şikayeti yaşar
10. Kas-İskelet Sistemi Riskleri	Ergonomik ekipman, eğitim	Mekanik taşıyıcı sistemler, pozisyon izleme	Tekrarlayan hareketler meslek hastalığına yol açar	Bant başında sürekli yükleme yapan işçide bel fıtığı gelişir
11. Psiko-Sosyal Riskler	Vardiya rotasyonu, psikolojik destek hattı	İş yükü analizleri, mola sürelerinin düzenlenmesi	Yalnız çalışmanın önlenmesi çok önemlidir	Uzun süre izole çalışan işçide kaygı bozukluğu oluşur
12. Acil Durumlar ve Sosyal Tesisler	Tahliye tatbikatları, gaz maskesi eğitimi	Akıllı takip sistemleri, kaçış yönü aydınlatmaları	Acil durumda yönlendirme sistemleri hayati önem taşır	Yangın anında kaçış yönü yanlış belirtilirse kaza büyüyebilir
13. Diğer Tehlikeler	Emisyon ölçümleri, çevre güvenliği	Bütünleşik İSG izleme panelleri	Kaza zinciri içindeki dolaylı tehlikeler dikkate alınmalı	Yağ sızıntısı sızıntısı tespit edilmediği zaman patlama riski oluşur

2.6. Risklerin İzlenmesi ve Gözden Geçirilmesi

Risk yönetimi, dinamik bir süreçtir ve düzenli olarak güncellenmelidir.

Düzenli Denetimler: İş Güvenliği Uzmanları, İşyeri hekimi ve diğer yöneticiler tarafından gerçekleştirilen saha kontrolleri.

Performans İzleme: Risk kontrol önlemlerinin etkinliğinin değerlendirilmesi.

Raporlama ve Kayıt: Kazalar, ramak kala olaylar ve kontrol önlemleri hakkında detaylı kayıt tutulması işlemlerini kapsar

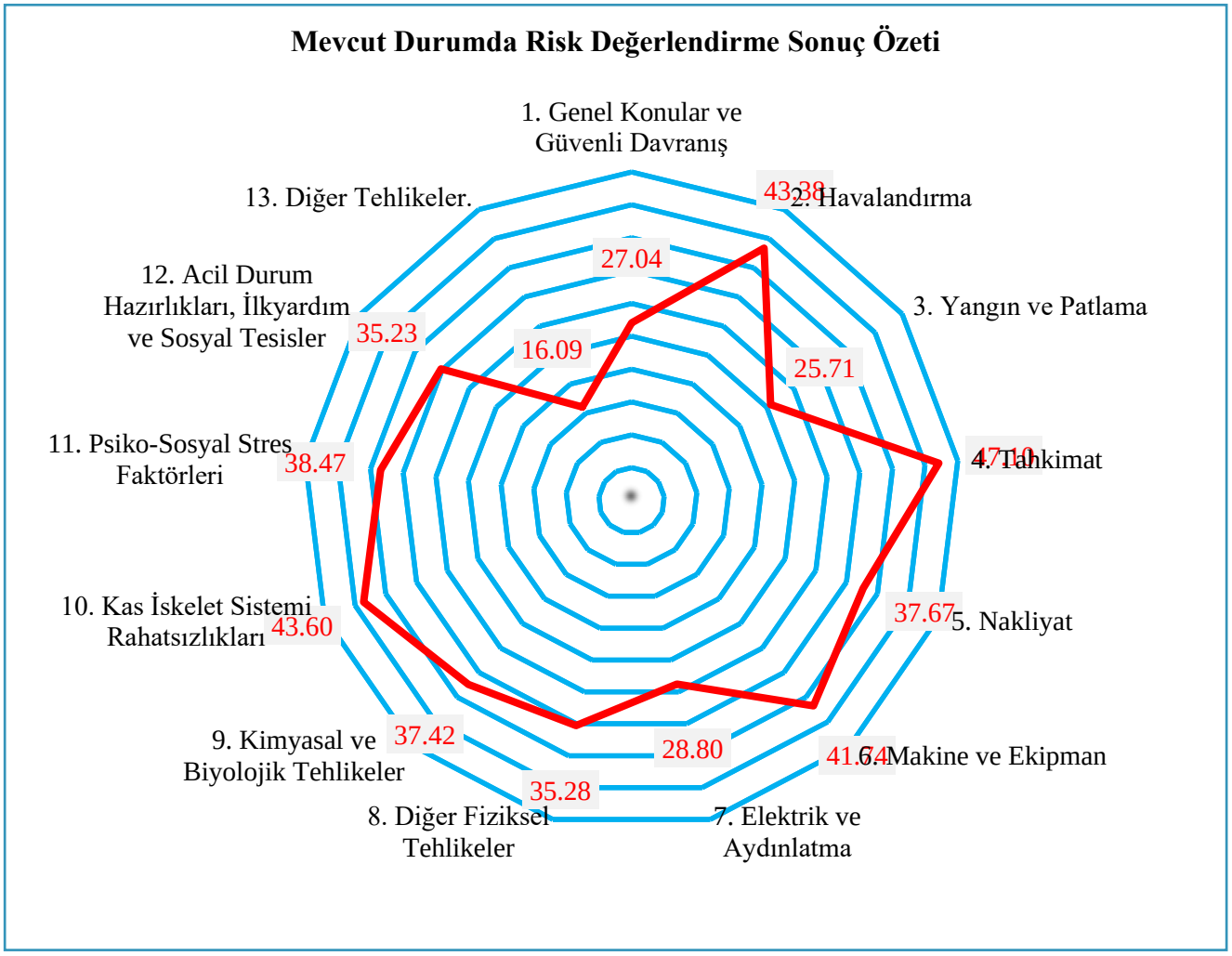
Yapılan Risk Değerlendirmesi Çalışmasında 13 baslık altında 731 riskin değerlendirilmesi yapılmış ve risk değerlendirme özeti çıkarılmıştır. (Çizelge 6) yapılan her çalışma ve risk değerlendirme güncellemesinde işletmenin ortalama Risk puanı çıkarılarak ilerlemeler görülebilmektedir.

Çizelge 5. Tehlike ve Risk Guruplarına Risk Değerlendirme Özeti

	Konu	Risk Sayısı	Maksimum Risk Puanı	Toplam Maksimum Risk Puanı	Mevcut Risk Puanı	MRP/ TMRP *100
YERALTI	1. Genel Konular ve Güvenli Davranış	79	25	1975	534	27,04
	2. Havalandırma	71	25	1775	995	56,06
	3. Yangın ve Patlama	70	25	1750	450	25,71
	4. Tahkimat	31	25	775	365	47,10
	5. Nakliyat	72	25	1800	678	37,67
	6. Makine ve Ekipman	131	25	3275	1367	41,74
	7. Elektrik ve Aydınlatma	60	25	1500	432	28,80
	8. Diğer Fiziksel Tehlikeler	39	25	975	344	35,28
	9. Kimyasal ve Biyolojik Tehlikeler	31	25	775	290	37,42
	10. Kas İskelet Sistemi Rahatsızlıkları	20	25	500	218	43,60
	11. Psiko-Sosyal Stres Faktörleri	34	25	850	327	38,47
	12. Acil Durum Hazırlıkları, İlkyardım ve Sosyal Tesisler	47	25	1175	414	35,23
	13. Diğer Tehlikeler.	46	25	1150	185	16,09
	TOPLAM	**731**	**325**	**18275**	**6599**	**36,11**

Bu değerler radar grafiklere konularak 13 başlık altında hangi konularda iyi durumda olduğumuz ve iyileştirme gereken yerler görülebilmektedir. Burada unutulmaması gereken bu çalışmanın mevcut durumu gösteren bir çizelge olduğudur. Kömür Madenciliği sürekli değişen, ekip çalışmasının önem arz ettiği ve sürekli kontrol edilmesi gereken işlerin ve durumların olduğu bir iş koludur.

Havalandırma ve gazları, tahkimatı, makine ekipmanı sürekli yetkili kişiler tarafından kontrol edilmesi gerekir ki bunlar kontrol önlemleri arasındadır.



Şekil 4. Mevcut Durumda Risk Değerlendirme Sonuç Özeti (% olarak)

3. RİSK YÖNETİMİNDE KULLANILAN TEKNOLOJİLER

- **Gaz İzleme Sistemi:** Metan, karbonmonoksit, oksijen ve hidrojensülfür gibi gibi tehlikeli gazların anlık takibi hava miktarı, sıcaklık hava basıncı izlenmesi.
- **Otomatik Havalandırma Sistemleri:** Yeraltı tüm kapalı alanlarda hava kalitesini ve sürekliğini düzenleme.
- **Yeraltı İletişim Sistemleri:** Normal veya Acil durumlarda haberleşme sağlayan sistemler.

- **Sensör ve İzleme Teknolojileri:** Personel yerlerini, makine ekipmanların çalışma durum parametreleri sürekli izleme. Termal kamera ve ısı izleme sistemi ile kömürün kendiliğinden yanması erken tespiti yapılması.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Kiremitçiler Gurup Özşen maden işletmeleri yeraltı mekanize kömür madenlerde iş sağlığı ve güvenliği kapsamında etkin bir risk yönetimi:

- Kazaların önlenmesi,
- Çalışanların sağlık ve güvenliğinin korunması,
- Yasal düzenlemeler ve standartlara uyum
- İş verimliliğinin artırılması açısından hayati önem taşır. Risk yönetimi, tehlikelerin sistematik bir şekilde ele alınması ve sürekli iyileştirme anlayışıyla başarıya ulaşabilir.

Bu hedeflere ulaşmak için ise;

- Riskli durumların ve kontrol önlemlerinin sürekli takibi
- Risk yönetiminin sürekli iyileştirilmesi,
- İş güvenliği kültürünün sürekli iyileştirilmesi,
- Çalışanların eğitilmesi ve bilgilendirilmesini.
- Koruyucu ekipman sağlanmasını ve kullanımının sürekli iyileştirilmesi gereklidir.

KAYNAKLAR

Health And Safety Executive (HSE) www.hse.gov.uk

Özşen Maden İşletmeleri Faaliyet Raporları

Yazıcı M., 2016, İş Sağlığı ve Güvenliğinde Risk Yönetimi, İstanbul, 373

MADENCİLİK FAALİYETLERİNDE YAŞANAN METAN GAZI PATLAMASI KAZA ÖRNEKLERİ VE YERALTI KÖMÜR MADENLERİNDEKİ METAN GAZI DRENAJININ İŞÇİ SAĞLIĞI VE İŞ GÜVENLİĞİ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

METHANE GAS EXPLOSION ACCIDENT EXAMPLES IN MINING ACTIVITIES AND EVALUATION OF METHANE GAS DRAINAGE IN UNDERGROUND COAL MINES IN TERMS OF WORKER HEALTH AND OCCUPATIONAL SAFETY

Şahin Güleryüz, Çağatay Pamukçu
Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği, İzmir

ÖZ: Yeraltı madenciliğinde metan gazı kaynaklı patlamalar ve zehirlenmeler, işçi sağlığı ve iş güvenliği açısından ciddi bir tehdit oluşturmaktadır. Bu bildiri, söz konusu tehlikeleri değerlendirmek ve metan drenajının yeraltı maden işletmelerindeki işçi sağlığı ve iş güvenliği üzerindeki etkisini irdelemek amacıyla hazırlanmıştır. Bu amaçla, metan gazının fiziksel ve kimyasal özellikleri incelenmiş, kömür madenlerindeki metan drenaj yöntemlerinin bu gazın drene edilmesindeki rolü analiz edilmiştir. İlk olarak yeraltında karşılaşılan zararlı gazlar tanımlanmış, ardından metan gazının güvenli bir şekilde ortadan kaldırılmasına yönelik teknik yöntemler, işçi sağlığı ve iş güvenliği perspektifinden ele alınmıştır. Ayrıca Türkiye'de yaşanan kazaların nedenlerinin anlaşılmasına yönelik değerlendirmeler sunularak, önleyici tedbirlerin yetersizliği ve arttırılması gerektiği vurgulanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Metan gazı, patlama, metan drenajı, işçi sağlığı ve iş güvenliği

ABSTRACT: *Methane gas explosions and poisoning in underground mining pose a serious threat to worker health and safety. This paper is prepared to evaluate these hazards and to examine the impact of methane drainage on worker health and safety in underground mining operations. For this purpose, the physical and chemical properties of methane gas are examined and the role of methane drainage methods in coal mines in draining this gas is analyzed. Firstly, the hazardous gases encountered underground are defined, then the technical methods for the safe removal of methane gas are discussed from the perspective of worker health and occupational safety. In addition, evaluations are presented to understand the causes of accidents in Turkey and the inadequacy of preventive*

measures and the need to increase them are emphasized.
Keywords: *Methane gas, explosion, methane drainage, occupational health and safety*

1.GİRİŞ

Yeraltı maden ocaklarındaki hava, genellikle su buharı ve gazların karışımından oluşur ve çoğu zaman tozludur. Bu ortamda havanın kalitesi, genellikle oksijen seviyesinin düşmesi ve karbondioksit ile diğer gazların artışıyla bozulur. Bu tür değişiklikler, maden havasını kirleterek boğucu, zehirli ve patlayıcı gazların birikmesine neden olur. Boğucu gazlara oksijen (O_2), karbondioksit (CO_2) ve azot (N_2) örnek verilebilirken; zehirli gazlar arasında karbonmonoksit (CO), hidrojen sülfür (H_2S), kükürt dioksit (SO_2) ve azot oksitleri (N_xO_y) sayılabilir. Özellikle madencilik faaliyetlerinde tehlikeli olan patlayıcı gaz ise metandır (CH_4).

Maden havasındaki hava kirliliğinin seviyesi;

- İşlem gören kömür veya cevherin doğasında bulunan gaz potansiyeline,
- Bu malzemelerin oksijenle kimyasal tepkimeye girme eğilimine,
- Faaliyetin yürütüldüğü yeraltı alanının büyüklüğüne,
- Kullanılan üretim tekniğine,
- Havalandırma yoluyla bölgeye sağlanan temiz hava miktarına,
- Mekanizasyon düzeyine ve kullanılan ekipmanların özelliklerine bağlı olarak değişkenlik gösterir.

Madenden çıkan gazlar, genellikle "yorgun hava" veya "kullanılmış hava" olarak adlandırılırken, maden havasında bulunan zehirli ya da patlayıcı gazlar ise "aktif gaz" olarak tanımlanır. Bu gazların havayla karışması; grizu, kör nefes gibi tehlikeli gazların ortaya çıkmasına sebep olur. Bu tür gazlar, işçi sağlığı ve işletme güvenliği açısından büyük riskler taşır.

- **Metan (CH_4) + Hava**: Metan, aynı zamanda bataklık gazı olarak da bilinmekte olup, yüksek patlayıcı özelliğiyle tehlikeli grizu gazlarını oluşturur.

- **Karbonmonoksit (CO) + Hava**: Çok zehirli ve hafif bir gaz olan karbonmonoksit, patlayıcı özellik de gösterir ve özellikle kömür madenlerinde görülür.
- **Hidrojen Sülfür (H_2S) + Hava**: Kükürtlü hidrojen, çürümüş yumurta kokusuyla tanınan son derece zehirli bir gazdır. Patlayıcı özellik taşıyan bu gaz, nadiren yüksek miktarlarda bulunur.
- **Karbonmonoksit (CO), Metan (CH_4), Karbondioksit (CO_2), Hidrojen (H_2) ve Azot (N_2)**: Bu gazların birleşimi, patlayıcı, zehirli, boğucu bir ortam oluşturur ve grizu patlamasından sonra ortaya çıkar.
- **Karbon Dioksit (CO_2) + Azot (N_2)**: Diğer bir ismi de "kör nefes" olan bu gaz karışımı, boğucu özellik taşır ve madenlerde %100 oranında bulunabilir.

1.1. Boğucu Gazlar

Boğulma olayları genellikle solunan havadaki oksijen oranının düşmesiyle ilişkilidir. Atmosferde yaklaşık %21 oranında bulunan oksijen, yanma olayları ve yaşam için vazgeçilmezdir. Ancak maden ortamlarında oksijen miktarındaki azalmalar, başta kömürün oksidasyonu, yangınlar ve patlamalar olmak üzere çeşitli süreçlerden kaynaklanmaktadır.

Çalışma ortamında solunabilir hava içindeki oksijen oranı %19'un altına düştüğünde riskli koşullar oluşur. Pratikte bu düşüş, kontrol lambalarının parlaklığındaki azalma ile gözlemlenir. %17 seviyesinin altındaki ortamlarda emniyet lambalarının sönmesi, ciddi oksijen yetersizliğini işaret eder. Oksijenin bu derecedeki düşüşü, baş dönmesi, bilinç kaybı ve hatta ölüm gibi sonuçlar doğurabilir.

1.1.1. Oksijen (O_2)

Boğulma, solunan havadaki oksijen seviyesinin düşmesine bağlı olarak meydana gelir. Oksijenin azalması, nefes almakta güçlük oluşturur. Madenlerde oksijen eksikliği, kömür veya madenin oksidasyonu, tahkimat malzemelerinin

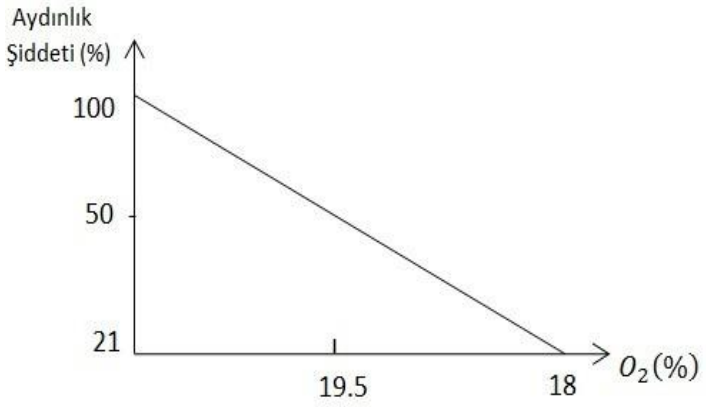
bozulması, diğer gazların atmosfere karışması, yangınlar, patlamalar ve çalışanların solunum faaliyetlerinden kaynaklanabilir.

Çizelge 1'den de görüleceği üzere, yeraltı maden ocaklarında solunum havası içerisindeki oksijen miktarı %19'un altına düşmemelidir. Bu seviyenin pratikte ve sürekli izlenmesi, kontrol lambası ile yapılır. Lambanın parlaklığındaki kademeli düşüş, ortam havasındaki oksijen miktarındaki azalmanın bir göstergesidir. %17'nin altında oksijen içeren ortamda kullanılan emniyet lambası söner.

Çizelge 1. Solunan havadaki oksijen miktarının insan sağlığına etkisi (Güyagüler vd., 2005)

Solunan Havadaki Oksijen (O_2 %)	**İnsan Sağlığına Etkisi**
21,00	Normal şartlarda nefes alımı
19,00	Normale yakın nefes alımı (kontrol lambasının parlaklığını %30 azaltır)
17,00	Nefes almanın hızlanması ve zorlanmanın başlangıcı
15,00	Baş dönmesi ve bulanık görüş
9,00	Bilinç kaybı
6,00	Solunumun yavaşlaması ve sonrasında kalp durması
0,00	Çırpınma, kasılma ve kısa sürede ölüm

Oksijen ölçümü için emniyet lambası kullanılır (Şekil 1). Lambanın parlaklığı, havadaki oksijen miktarıyla doğru orantılıdır. Oksijen oranındaki her %0,1'lik azalma, ışık şiddetinde %3,5'lik bir düşüşe yol açar.



Şekil 1. Emniyet lambası ile oksijen ölçümü

1.1.2. Karbondioksit (CO_2)

Karbondioksit, kokusuz ve renksiz bir gaz olup, asidik bir tadı vardır. Havadan daha yoğundur (1,52 g/cm^3) ve yanıcı değildir, bu yüzden yanma sürecine katkı sağlamaz. Karbondioksit; nefes alma, karbon içeren maddelerin (ahşap, kömür, petrol vb.) yanması, ahşap çürümesi, patlamalar ve yangınlar gibi olaylar sonucu ortaya çıkar.

Karbondioksit tespiti için güvenilir yöntemlerden biri, havanın kireçli sudan geçirilmesidir. Bu yöntemde, sıvı yoğunlaşarak beyaz, sütlü bir görünüm alır. Diğer bir yöntem ise kimyasal analizlerdir. Ancak pratikte, en yaygın kullanılan yöntem, emniyet lambasındaki ışığın parlaklık seviyesinin kontrolüdür. Donuk veya dumanlı bir ışık, ortamda en az %2 oranında karbondioksit bulunduğunu gösterir (Kayabalı N., Büyükbaş, F., 2024).

Karbondioksit oranının %1'i geçtiği yerlerde insanlar çalıştırılmamalıdır. Türkiye'de kabul edilebilir en düşük oksijen seviyesi %19, en fazla izin verilebilen karbondioksit miktarı ise %0,5'tir.

Çizelge 2'de solunum havasındaki karbondioksit miktarının insan sağlığına etkisi görülmektedir.

Çizelge 2. Solunum havasındaki karbondioksit yüzdelerinin insan sağlığı üzerindeki etkisi (Güyagüler vd., 2005)

Karbondioksit (CO_2 %)	**Hava (%)**	**İnsan Sağlığına Etkisi**
1,00	99	Hissedilen bir etkisi yoktur
3,00	97	Nefes almada zorlanma başlangıcı olur
5,00-6,00	95-94	Nefes alma hızlanır ve baş ağrısı olur
10,00	90	Şiddetli acı hissi
15,00	85	Kısmi bir bilinç kaybının yaşanması
18,00	82	Boğulma ve ölüm
25,00	75	Kısa sürede ölüm

Türkiye, Amerika ve Rusya'da oksijen ve karbondioksit gazları için uygulanan standartlar değerler ise aşağıdaki çizelgedeki gibidir (Çizelge 3).

Çizelge 3. Uygulanan karbondioksit ve oksijen standartları (Güyagüler vd., 2005)

Ülke	**Kabul edilebilir en düşük O_2 (%)**	**İzin verilebilen en fazla CO_2 (%)**
Türkiye	19,0	0,5
Amerika	19,5	0,5
Rusya	20	0,5

1.1.3. Azot (N_2)

Azotun ortamda oluşmasının ana nedeni, organik maddelerin çürümesi ile kontrollü patlatmalardır. Kontrollü patlatmalarda kullanılan patlayıcı maddeler içerisinde yer alan azot, reaksiyon sonucu N_2 olarak ortama yayılır. Renksiz, kokusuz ve zehirsiz olan azot; solunum havası içerisindeki oksijeni aşırı derecede seyrelterek boğulmaya sebep olabilmektedir.

Yeraltı ocaklarına sağlanacak temiz havanın ocak işletilmeye başlamadan doğru hesaplanması, doğru havalandırma planlamasının önemli adımlarından biridir. Burada yapılacak temel hatalar, ocağın işçi sağlığı ve iş güvenliği sorunlarının yanı sıra maddi kayıplara da neden olabilir ve çoğu zaman kolaylıkla geri döndürülemez bir problem haline gelebilir.

1.2. Zehirli Gazlar

1.2.1. Karbonmonoksit

Karbonmonoksit, oldukça toksik özelliklere sahip bir gazdır ve insan sağlığı açısından ciddi tehlikeler barındırır. Bu gaz, havadan biraz daha hafif olup, özgül ağırlığı yaklaşık 0,96 g/cm³'tür. Görünmez, kokusuz ve tatsızdır; bu nedenle fark edilmesi oldukça güçtür. Yanıcı özelliği olan karbonmonoksit mavi renkte bir alevle yanabilir; ancak yanmayı başlatma ya da devam ettirme kapasitesine sahip değildir. Bunun temel sebebi, ortamda tutuşmayı ya da patlamayı tetikleyecek düzeyde bir yoğunluğa ulaşamamasıdır. Solunum sisteminde görevli olan hemoglobin, normal şartlarda oksijeni akciğerlerden alarak tüm dokulara iletir. Ancak ortamda karbonmonoksit bulunuyorsa, hemoglobin öncelikle bu gazla birleşir. Çünkü karbonmonoksitin hemoglobine olan ilgisi, oksijene göre 200 ila 300 kat daha fazladır. Bu durum, karboksi-hemoglobin oluşumuna yol açar ve kandaki oksijen taşınma kapasitesi ciddi şekilde düşer. Akciğerler bu gazdan çok hızlı etkilendiğinden, solunum hızlanır ve derinleşir, kalp atışları artar; böylece karbonmonoksit daha hızlı bir şekilde vücuda yayılır. Bu gazdan etkilenen bireylerin cilt rengi ise çoğu zaman pembemsi bir tona dönüşür (Güyagüler vd., 2005). Karbonmonoksit gazının 8 saatlik bir vardiya süresi içerisinde geçmemesi gereken sınır değer % 0,005 (50 ppm)'dir. Karbonmonoksit yüzdesinin zamana bağlı insanlar üzerindeki etkisi aşağıdaki çizelgede görülmektedir (Çizelge 4).

Çizelge 4. Karbonmonoksit yüzdesinin insanlar üzerindeki etkisi (Güyagüler vd., 2005)

Konsantrasyon (%)	İzin verilebilir maruziyet süresi
0,01	Birkaç saat maruz kalınabilir
0,04 – 0,06	Fark edilmeden 1 saat normal nefes alınabilir
0,06 – 0,07	1 saatten sonra fark edilebilir etki gösterir
0,07 – 0,12	1 saatin sonunda rahatsız eden fakat tehlikeli olmayan bir etki gösterir
0,12 – 0,20	1 saat maruziyet tehlikelidir
0,20 – 0,40	1 saatten az maruziyet tehlikelidir
≥ 0,40	1 saatten az sürede ölüme yol açar

Çizelge 5'te kandaki CO seviyesine göre klinik bulgular listelenmiştir.

Çizelge 5. Kandaki CO seviyesine göre klinik bulgular (Keith vd., 2000)

Kandaki CO Düzeyi (%)	**Klinik Bulgu**
%10,00 - 20,00	Bulantı, yorgunluk, duygusal dengesizlik, sakarlık
%21,00 – 30,00	Başın ağrıması, görme duyusunda değişiklikler, çevreye uyumda hafif yetersizlik, tehlikeye karşı tepki vermede zayıflık, hafif güç kaybı, duyularda zayıflama
%31,00 – 40,00	Baş dönmesi, sersemlik, bulantı, kusma, görme bozuklukları, karar almada yetersizlik
%41,00 – 50,00	Bayılma, bilinç değişiklikleri, unutkanlık
%51,00 – 60,00	Nöbetler , koma, belirgin asidoz
%60,00 ve üzeri	Ölüm

CO zehirlenmesinde öncelikle hastaya oksijen verilmesi gerekir; bu mümkün değilse temiz havaya çıkarılması sağlanmalıdır. Bilinci kapalıysa suni teneffüs uygulanmalı, hasta sıcak tutulmalı ve gözlem altında kalmalıdır (Güyagüler vd., 2005).

Gazın tespit edilmesinde kimyasal analizler ve dijital dedektörler kullanılır.

1.2.2. Hidrojen Sülfür (H_2S)

Hidrojen sülfür, oldukça zehirli ve renksiz bir gaz olup, çürümüş yumurtaya benzer bir kokuya sahiptir ve koku alma duyusuna zarar verebilir. Özgül ağırlığı 1,19 g/cm³ olan bu gaz, %4 ile %44,5 arasındaki konsantrasyonlarda patlayıcı özellik gösterir.

Hidrojen sülfür gazı, kara barutun yanmasında, sülfürlü cevherlerin patlatılmasında ve su basmış bölgelerde su alma işlemleri sırasında ortaya çıkar. Çizelge 6, hidrojen sülfürün insan sağlığı üzerindeki etkilerini göstermektedir.

Çizelge 6. Hidrojen sülfür yüzdesinin insan sağlığı üzerindeki etkisi (Güyagüler vd., 2005)

Konsantrasyon (ppm)	Etki
50 - 150	Gözde ve boğazda tahriş
150 - 400	Keskin göz tahrişi ve solunum yapmada zorlanma
400 - 900	Bilinçsizlik hali ve baygınlık durumu
900 - 2000 veya ≥ 2000	Şiddetli bir zehirlenme ve 1 dakikadan kısa bir sürede ölüm

1.2.3. Kükürt dioksit (SO_2)

Kükürt dioksit, kendine has keskin ve rahatsız edici bir kokuyla tanınır. Yanıcı olmamakla birlikte oldukça toksiktir ve özgül ağırlığı 2,26 g/cm³'tür. Bu gaz genellikle demir piritinin yanması ya da kükürt içeren cevherlerin patlatılması sırasında açığa çıkar. Solunduğunda gözlerde, burunda ve boğazda ciddi tahrişe yol açar; yüksek miktarda maruz kalındığında ise akciğer dokularına zarar verebilir.

Çizelge 7'de kükürt dioksit konsantrasyonunun insan sağlığı üzerindeki etkisi gösterilmektedir.

Çizelge 7. Kükürt dioksit konsantrasyonunun insan sağlığı üzerindeki etkisi **(**Güyagüler vd., 2005)

Konsantrasyon (ppm)	Etki
20	Öksürük; göz, burun ve boğazda tahriş
150	Maksimum 1 dakika süre ile dayanılabilir
400	Nefes almak artık imkansızdır

1.2.4. Azot Oksitler

Nitrik oksit (NO), azot dioksit (NO_2), azot trioksit (NO_3), azot tetra oksit (N_2O_4) ve nitröz oksit (N_2O), en yaygın bilinen azot oksit bileşikleridir. Bu gazlar genellikle azotlu patlayıcıların kullanımı ve dizel motor egzozlarında ortaya çıkar. %0,1 oranında nitröz gaz içeren ortamlarda 30 dakikadan fazla kalmak ciddi

sağlık riski taşır.

İş sağlığı açısından, 8 saatlik çalışma süresince bu gazların maruziyet sınırı 25 ppm ile sınırlanmalıdır. Patlamaların ardından barut benzeri bir koku ile varlıkları tespit edilebilir. Nitrik oksit miktarındaki değişimin insan sağlığına etkisi aşağıdaki çizelgede gösterilmiştir (Çizelge 8).

Çizelge 8. Nitrik oksit konsantrasyonunun insan üzerindeki etkisi (Güyagüler vd., 2005)

Konsantrasyon (ppm)*	**Etki**
25	Uzun süreli bir maruziyet için en fazla izin verilebilen konsantrasyondur
25 - 60	Kısa sürede boğazın tahrişi
60 - 100	Öksürme
100 - 200	Kısa süreli maruziyet için dahi tehlikelidir
≥ 200	Kısa sürede ölüm

***Bu konsantrasyon değerleri azot dioksit (NO_2) için 5 ile bölünmelidir.

Azot dioksit, atmosferdeki nemle tepkimeye girerek nitrik aside (HNO_3) dönüşür ve bu durum canlı sağlığı açısından ciddi tehditler oluşturur. Azot oksitlerin salınımı sonucu oluşan bu asit, solunum yoluyla alındığında düşük miktarlarda bile hayati tehlike yaratabilir. NO_2 için belirlenen maksimum maruziyet sınırı ise 5 ppm olarak kabul edilmektedir.

Aşağıdaki çizelgede yeraltında bulunan zararlı gazlar ve bu gazların eşik sınır değerleri (ppm) ile patlama limitleri (%) görülmektedir (Çizelge 9).

Çizelge 9. Başlıca zararlı gazlar (Güyagüler vd., 2005)

Gaz İsmi	**Formülü**	**Eşik Sınır Değeri (ppm)**	**Patlama Limiti (%)**
Karbon monoksit	CO	50	12,5 - 74
Karbon dioksit	CO_2	5000	Yanıcı olmayan madde
Nitrik oksit	NO	25	-
Azot dioksit	NO_2	5	-
Metan	**CH_4**	**-**	**5,0 – 15,0**
Hidrojen sülfür	H_2S	10	4,0 – 44,0
Kükürt dioksit	SO_2	5	Yanıcı olmayan madde
Hidrojen	H_2	-	4,0 – 75,0

1.3. Patlayıcı Gazlar

1.3.1. Metan

Kömür madenciliğinde metan gazı; patlama, yangın, ani püskürme ve boğulma ile birçok tehlikeyi beraberinde getirmektedir. Metan ile en etkili mücadele yöntemi ise efektif bir havalandırma sistemi ve metan drenajıdır. Sorunun havalandırma ile yenilemediği durumlarda havalandırmaya destek olarak metan drenajı zorunluluk göstermektedir. Metan drenajı ile birlikte metan, kaynağında kontrol edilmekte ve ocak açıklıklarında birikimi engellenebilmektedir.

Metan Drenajı; kömür ve çevre kayaçlarda yüksek basınç altında bulunan metan gazının, üretim ve hazırlık faaliyetleri ile birlikte doğal gerilmeler dengesi bozulup ocak açıklıklarına akışından önce tutularak ortamdan uzaklaştırılması, yeryüzüne veya yeraltında hava çıkış kuyusu veya nefeslik galerilerine pompalanması işlemidir.

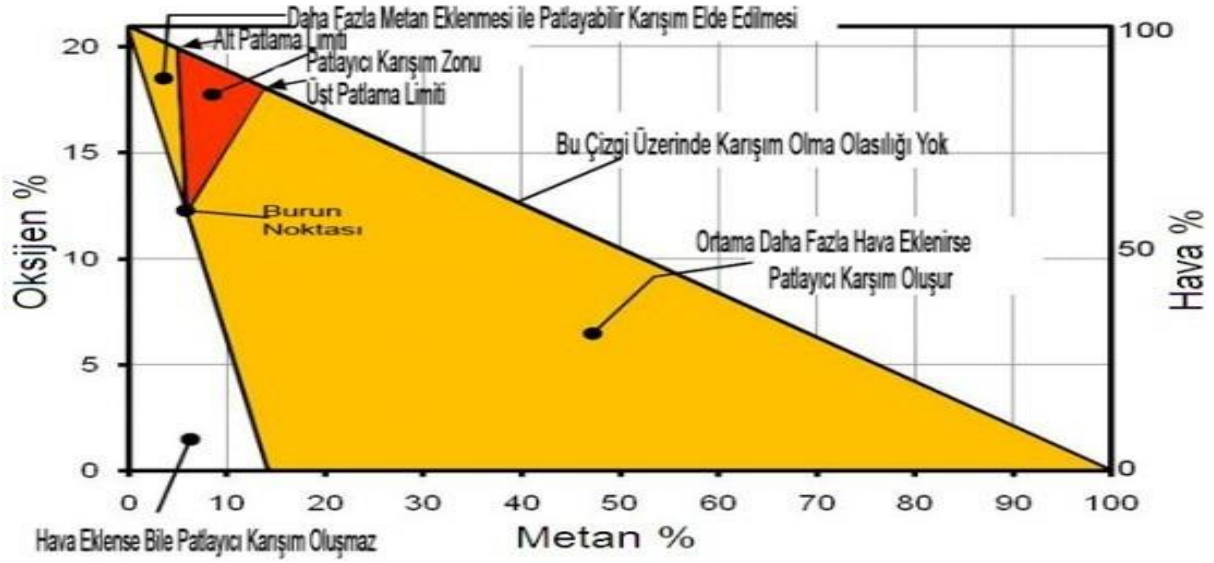
Türkiye'de en fazla maden iş kazasının görüldüğü iş kolu yeraltı kömür madenciliğidir. Özellikle grizu nedeniyle oluşan kazalarda çok sayıda kayıp yaşanmaktadır (Çizelge 10).

Çizelge 10. Türkiye'de 1983 yılından 2022 yılına kadar yaşanan grizu patlamaları ve bu patlamalarda ölen kişi sayısı (Yenişafak gazetesi, Türkiye'nin maden kazası bilançosu, 2022)

Tarih	İş Kazasının Olduğu Maden	Ölü Sayısı
7 Mart 1983	Zonguldak-Armutçuk	103
10 Nisan 1983	Zonguldak-Kozlu	10
31 Ocak 1990	Bartın-Amasra	5
7 Şubat 1990	Amasya-Yeni Çeltek	68
3 Mart 1992	Zonguldak – Kozlu	263
26 Mart 1995	Yozgat – Sorgun	38
8 Ağustos 2003	Erzurum-Aşkale	7
22 Kasım 2003	Karaman-Ermenek	10
21 Nisan 2005	Balıkesir- Dursunbey	17
2 Haziran 2006	Balıkesir- Dursunbey	17
10 Aralık 2009	Bursa-Mustafakemalpaşa	19
23 Şubat 2010	Balıkesir-Dursunbey	13
17 Şubat 2010	Zonguldak-Karadon	30
8 Ocak 2013	Zonguldak-Kozlu	8
14 Ekim 2022	Bartın-Amasra	42
	39 Yılda Toplam	**650**

Metan; renksiz, kokusuz ve oldukça yanıcı bir gazdır. Özgül ağırlığı yaklaşık 0,55 g/cm³ olan bu gaz, toksik olmasa da ortamdaki oksijen seviyesini %12'nin altına düşürdüğünde boğucu bir etki yaratabilir. Maden ortamında metan konsantrasyonu %5 ile %15 arasında olduğunda patlama riski oluşur; en şiddetli patlama ise yaklaşık %9,5 seviyesinde meydana gelir (Şekil 2). Yanma sıcaklığı 650 ile 750 °C arasında değişirken, patlama sonrası çevre sıcaklığı 1800-2500 °C'ye kadar ulaşabilir. Ayrıca, patlama anında ortam basıncı normalin yaklaşık 9

katına çıkar. 1 kilogram metanın yanmasıyla 13.300 kcal enerji açığa çıkar. Bu miktar, aynı kütledeki barutun saldığı enerjinin çok üzerindedir.



Şekil 2. Havada bulunan metan ve oksijenin hacimsel yüzdeleri ve patlama riski oluşturmasının Coward üçgeni üzerinde gösterimi (Ünver, B., Akbal M., 2010)

Coward Üçgeni, metan (CH_4) ve oksijen (O_2) gazlarının belirli oranlarda bir araya geldiğinde, oluşabilecek patlama risklerini grafiksel olarak gösteren bir üçgendir. Bu diyagram, özellikle madenlerde metan gazı drenajı ve havalandırma sistemleri tasarlanırken güvenli aralıkları değerlendirmek için kullanılır. Coward Üçgeni, üç eksenli bir diyagramdır:

- **Yatay Eksen (X):** Havada bulunan **metan yüzdesini (% CH_4)**
- **Dikey Eksen (Y): Oksijen yüzdesini (% O_2)**
- **Üçüncü Eksen (Z):** İnert gazlar veya nitrojen oranını ifade eder (görselde genelde gösterilmez).

Patlayıcı karışım aralığı, belirli bir üçgenin içinde yer alır. Bu aralık şu şekilde belirlenmiştir;

- **Metan %5 ile %15 arasında ise** (alt ve üst patlama sınırı),
- **Oksijen %12'den fazla ise** (oksijen varlığı olmadan yanma olmaz) ortam **patlayıcıdır**.

Patlama Bölgeleri

- **Güvenli bölge**: Metan <%5 veya oksijen <%12 — Patlama riski yoktur.
- **Tehlikeli bölge (Patlayıcı atmosfer)**: Metan %5–15 ve oksijen %12 üzerindeyse — **Patlama riski çok yüksektir.**
- **Sınır bölge**: Yakıt veya oksijen yetersiz — Patlama mümkün değildir ama risklidir.

Şekil 2'de, farklı CH_4 ve O_2 oranlarının oluşturacağı grizu riskleri, Coward üçgeni kullanılarak açıklanmaktadır. Grizu patlamasının meydana gelmesi için metan (CH_4), oksijen (O_2) ve bir ateşleme kaynağının bir araya gelmesi gerekmektedir. Oksijen oranı havada %12-20 arasında ve metan oranı %7-15 arasında olduğunda patlama riski oluşabilir. Ancak oksijen oranı %12'nin altına düştüğünde ve metan oranı %15'i geçtiğinde ise patlama meydana gelmez.

Metan, yeraltı maden ocağı işletmelerine üç farklı şekilde karışabilmektedir.

• Metanın emisyonu sonucu karışım

• Metanın üflenmesi sonucu karışım

• Ani metan çıkışı sonucu karışım

Metan gazı, özellikle dar galerilerde, jeolojik yapının kalınlık açısından değişkenlik gösterdiği bölgelerde ve kömür madenlerinin kuru kesimlerinde yaygın olarak görülebilir. Bunun yanı sıra, kömürün aynasından, kırma makineleriyle parçalanması sırasında ya da konveyör bantlarla taşınması esnasında da metan salınımı meydana gelebilir. Metan patlaması sonucunda sıcaklık dar hacimlerde 2150–2650 °C'ye, geniş alanlarda ise yaklaşık 1850 °C'ye kadar ulaşabilir. Patlama anında oluşan hava basıncı "ileri şok" adı verilen güçlü bir dalga yaratırken, patlama sonrası gazların soğuması ve su buharının yoğunlaşmasıyla "ters şok" adı verilen ikinci bir dalga meydana gelir. Ters şokun gücü ileri şoka kıyasla daha düşük olsa da yol açtığı yıkım daha ciddi olabilir (Ünver, B., Akbal M., 2010).

Metan tespiti için kullanılan detektörler:

- Otomatik detektörler (alarmlar),
- Ring Rose alarmı,
- Dijital metan ölçerler ve
- Alevli güvenlik lambalarıdır.

Yeraltında serbest kalan metanın kontrolü, drenaj yapılmadığı takdirde tamamen sağlanamayabilir. Bu sebeple, yeraltında kullanılan tüm ekipmanların grizu patlamalarına karşı dayanıklı olması gerekir. Ancak, çalışma sırasında kıvılcım oluşumunun tamamen engellenmesi her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle, grizu patlamalarını önlemenin en etkili yöntemi hem çalışma öncesinde hem de çalışma sırasında metan drenajının yapılmasıdır.

Yeraltı maden ocaklarında havalandırma ve metan drenajı ile ilişkili uygulamalar, üretimin verimli sürdürülebilmesinin yanı sıra bu tür ocaklarda işçi sağlığı ve iş güvenliğinin tesisi ve sürdürülebilmesi açısından en önemli araçtır. Bu aracın etkin ve verimli kullanılabilmesi büyük oranda ocaklarda görev alan teknik personelin ve işçilerin konu ile ilgili bilgi ve algı düzeylerine bağlı olmakla birlikte madencilik yapılan ülkedeki mevzuat da bu konu üzerinde büyük bir öneme sahiptir. Bu bağlamda, özellikle Avustralya, Kanada ve A.B.D gibi gelişmiş ülkelerde, yeraltı maden ocaklarında havalandırmaya yönelik olarak son 30-40 yılda konuya azami bir özen gösterilmekte olup özel sektör ve kamu kurumları tarafından büyük bütçeli projeler ve araştırmalar yürütülmektedir. Ayrıca metan drenajı ve havalandırmaya yönelik kanunlar ve yönetmelikler üzerinde tartışmalar sürdürülmekte ve iyileştirmeler yapılmaktadır. Ayrıca, bu ülkelerde denetim mekanizmalarının ve yaptırımların son derece etkili olduğu bilinmektedir. Buna bağlı olarak, yeraltı madenciliği yapılan diğer ülkelerle karşılaştırıldığında, bu ülkelerde yeraltı ocaklarında metan gazı ve havalandırma sistemi ile ya dolaylı ya da doğrudan meydana gelen kaza sıklığı ve sayılarının çok ciddi oranda azaldığı görülmektedir. Çizelge 11'de 2010-2025 yılları arasında çeşitli dünya ülkelerinde yaşanan kazalara ait bilgiler sunulmaktadır.

Çizelge 11. 2010-2025 yılları arasında çeşitli ülkelerde yaşanan, metan gazı ve havalandırma sistemi ile doğrudan ya da dolaylı olarak ilişkili kazalara ait bilgiler (mineaccidents.com.au, Wikipedia, 2010-2025)

Kaza Yılı	Kazanın Yaşandığı Ülke	Ocak İsmi	Kazanın Nedeni	Ölen Kişi Sayısı
2010	A.B.D.	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	29 Ölü
	Yeni Zelanda	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	29 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Ocak yangını	25 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Ocak yangını	25 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	21 Ölü
2011	Ukrayna	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	24 Ölü
	Pakistan	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	43 Ölü
2012	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	45 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	14 Ölü
2013	Çin	Taşkömürü	Ani püskürme	25 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	29 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	28 Ölü
2014	Avustralya	Taşkömürü	CO zehirlenmesi	1 Ölü
2017	İran	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	35 Ölü
2018	Afganistan	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	16 Ölü
	Afganistan	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	7 Ölü
2019	A.B.D.	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	1 Ölü
	Kırgızistan	Taşkömürü	Oksijen yetersizliği	6 Ölü
	Afganistan	Taşkömürü	(metan)	16 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	14 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	15 Ölü
	A.B.D.	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	1 Ölü
			Metan gazı patlaması	
2020	Çin	Taşkömürü	CO zehirlenmesi	18 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Bant yangını/zehirlenme	16 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	4 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	4 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	23 Ölü
2021	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	5 Ölü
	Çin	Taşkömürü	CO zehirlenmesi	6 Ölü
2022	Türkiye	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	42 Ölü
2023	Çin	Taşkömürü	CO zehirlenmesi	6 Ölü
	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	3 Ölü
2025	Çin	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	7 Ölü
			Toplam	**583 Ölü**

Çizelge 11'de görüldüğü üzere; 2010-2025 yılları arasında çeşitli ülkelerde yaşanan, metan gazı ve havalandırma sistemi ile ya dolaylı ya da doğrudan ilişkili kazalarda; ABD'de yaşanan üç kazada 31, Avustralya'da bir kazada 1 ve Yeni Zelanda'da bir kazada 29 madenci hayatını kaybetmiştir. Aynı dönemde Çin'de toplam yirmi kazada 333, Pakistan'da bir kazada 43, Afganistan'da üç kazada 39, Kırgızistan'da bir kazada 6, İran ve Ukrayna'da ise birer kazada sırasıyla 35 ve 24 madenci hayatlarını kaybetmişlerdir. **T**ürkiye'de ise 2022 yılındaki bir kazada 43 madenci hayatını kaybetmiştir. Bu dönemdeki toplam ölü sayısı ise 583'tür. Ancak bu rakam değerlendirilirken bu ülkelerdeki üretim rakamları da dikkate alınmalıdır. Çizelgede verilen kazaların tamamının yeraltı taşkömürü ocaklarında olmuş olması da dikkat çekicidir. Bunun yanı sıra, gelişmiş madencilik ülkeleri dışındaki ülkelerdeki yeraltı metal ocaklarında metan gazı ile ilişkili olarak meydana gelen ölümlü kazalarda olabilir, ancak verilere ulaşmadaki bazı zorluklar nedeniyle bu çizelgeye dahil edilememiştir.

Dünyada durum böyle iken, üretim miktarı açısından dünyadaki ülkelerle karşılaştırıldığında görece olarak düşük üretimler gerçekleştiren Türkiye'de, madencilik sektöründe durum pek de iç açıcı görünmemektedir. Daha önceki yıllarda da büyük felaketlerin olduğu Türkiye'deki madencilik sektöründe, 2010-2025 yılları arasında yeraltındaki kömür ve metal ocaklarında yaşanan, metan gazı ve havalandırma sistemi ile ya dolaylı ya da doğrudan ilişkili kazaların sayısı 19'dur. Özellikle 2014 yılında Soma'da yaşanan ve 301 madencimizin ölümüyle sonuçlanan kazanın etkisiyle, bu kazalarda hayatını kaybeden madenci sayısı toplam 434'tür. (Çizelge 12). Yaşanan bu kazaların tümü maalesef ülkemizdeki yeraltı linyit, taşkömürü ve metal ocaklarında gerçekleşmiştir.

Çizelge 12. 2010-2025 yılları arasında Türkiye'de yaşanan, metan gazı ve havalandırma sistemi ile ya dolaylı ya da doğrudan ilişkili kazalara ait bilgiler (Evrensel gazetesi, 2012., Habertürk gazetesi, 2013, 2025.)

Kaza Yılı	**Kaza Yeri**	**Ocak İsmi**	**Kazanın Nedeni**	**Ölen Kişi Sayısı**
2010	Dursunbey/Balıkesir Karadon/Zonguldak Keşan/Edirne	Linyit Taşkömürü Linyit	Metan gazı patlaması Metan gazı patlaması Yangın	17 Ölü 30 Ölü 3 Ölü
2012	Suluova/Amasya	Linyit	O_2 yetersizliği (metan)	2 Ölü
2013	Kozlu/Zonguldak Kırat/Zonguldak	Taşkömürü Taşkömürü	Ani püskürme Gaz zehirlenmesi	8 Ölü 4 Ölü
2014	**Soma/Manisa**	**Linyit**	**Yangın/zehirlenme**	**301 Ölü**
2015	Yeşilova/Burdur	Krom	Gaz zehirlenmesi	2 Ölü
2016	Tefenni/Burdur	Krom	Gaz zehirlenmesi	2 Ölü
2017	Kilimli/Zonguldak Asma/Zonguldak Kelkit/Gümüşhane	Taşkömürü Taşkömürü Linyit	Metan parlaması Gaz zehirlenmesi Gaz zehirlenmesi	2 Ölü 2 Ölü 2 Ölü
2018	Kilimli/Zonguldak Kozlu/Zonguldak Kilimli/Zonguldak	Taşkömürü Taşkömürü Taşkömürü	O_2 yetersizliği (metan) Gaz zehirlenmesi Metan gazı patlaması	1 Ölü 2 Ölü 3 Ölü
2019	Kilimli/Zonguldak	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	1 Ölü
2020	İskilip/Çorum	Linyit	Metan gazı patlaması	1 Ölü
2022	Amasra/Bartın	Taşkömürü	Metan gazı patlaması	42 Ölü
2024	İliç/Erzincan	Altın	Havalandırma yetersizliği	9 Ölü
			Toplam	**434 Ölü**

Çizelge 12'de sunulan kazalardaki toplam can kaybının 434 olması çok üzücü olmakla birlikte bu durumun tesadüf olmadığı da açıktır. Bu bilgiden hareketle Türkiye'deki yeraltı ocaklarında havalandırmaya ve metan drenajına

gereken önemin verilmediği rahatlıkla söylenebilir. Ülkemizde üretimin çok büyük oranda havalandırma gereksinimlerinin önüne geçtiği, havalandırmaya yönelik mevzuatın yetersiz/eksik olduğu, ocak ve havalandırma tasarımlarında sıklıkla önemli hatalar yapıldığı, üniversitelerimizde havalandırma eğitimlerinin yetersiz olduğu, buna bağlı olarak yeraltı ocaklarında havalandırma ile ilgilenen teknik personelin ve ayrıca ocakları denetleyen meslektaşlarımızın bilgi eksikliklerine sahip olduğu ve işçilerin ise çoğu zaman tehlikelerden bihaber oldukları söylenebilmektedir. Bunun yanı sıra, ekonomik boyutunun doğrudan hesaplanamaması nedeniyle havalandırmanın neredeyse sürekli olarak arka plana itilmesi, yaşanan sonuçların çok ağır olduğunu net bir şekilde bizlere göstermektedir.

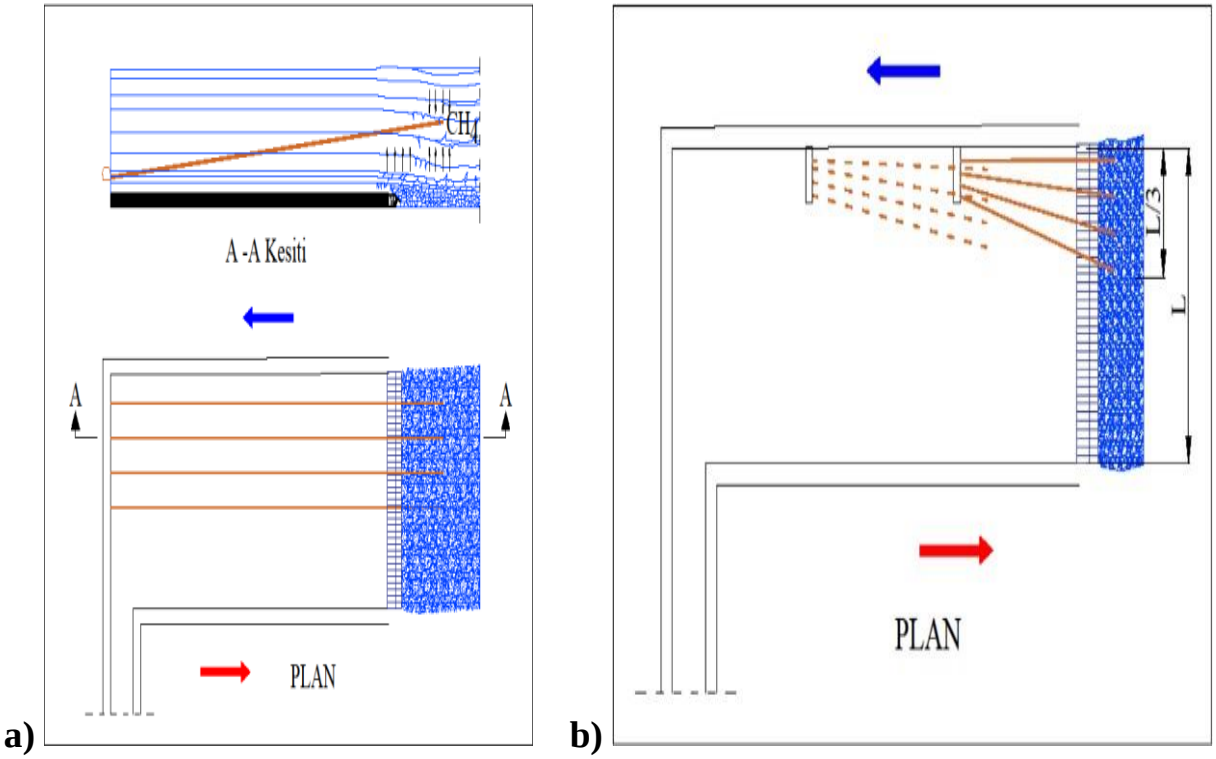
Bu kapsamda hazırlanan bu çalışmanın temel amacı, Türkiye'deki yeraltı maden ocaklarındaki metan drenajı ile ya dolaylı ya da doğrudan ilişkili olan bu kazalara yol açtığı değerlendirilen, ilgili bazı konulara vurgu yapmak ve ülkemizdeki metan drenajına yönelik farkındalığın önemini arttırmaya yardımcı olmaktır.

2. MALZEME VE YÖNTEM

2.1. Metan Drenaj Yöntemleri ve Uygulama Zamanları

2.1.1. Üretim esnasında metan drenajı

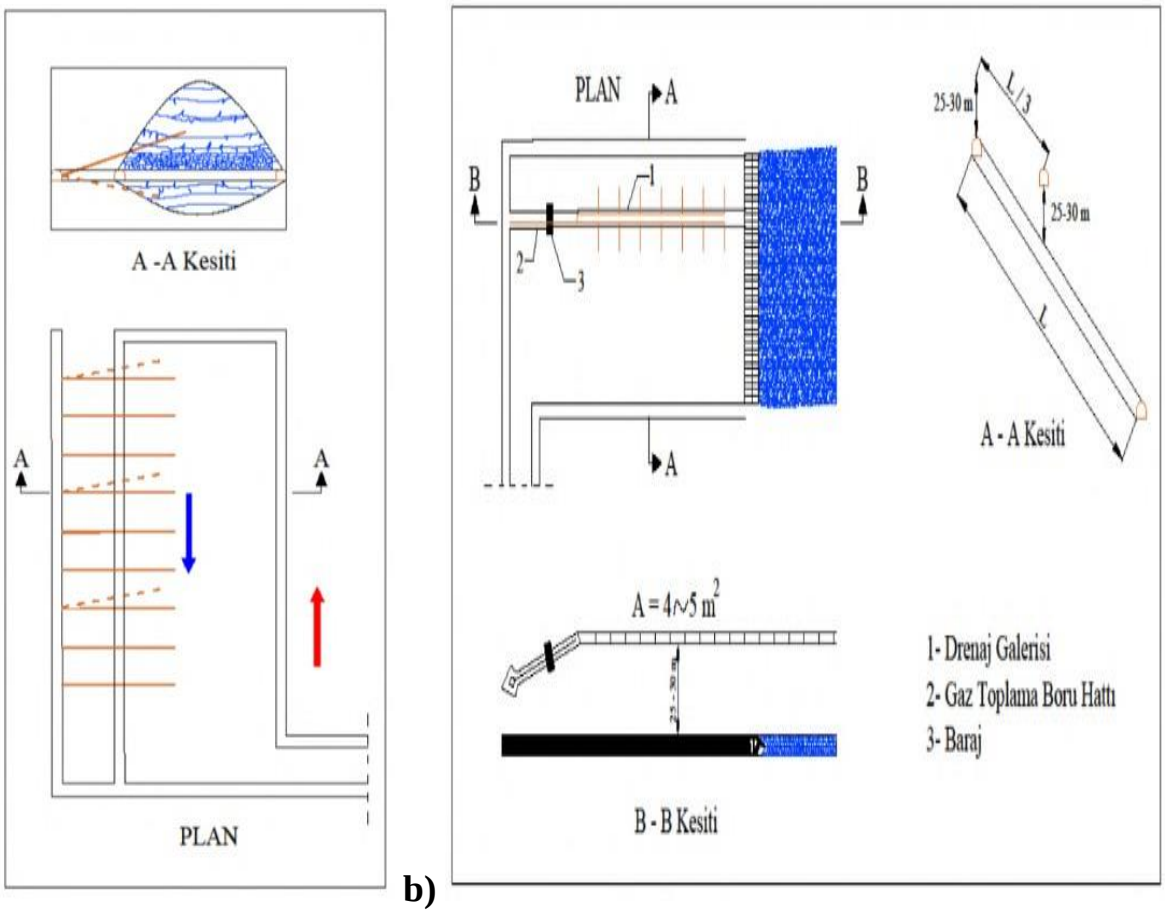
Ana galerilerden çalışılan ayağın tavan taşına, ayak ilerleme istikametine dik olacak şekilde sondajlar açılır (Şekil 3a.). Üst taban yolunda açılan kılçık baca ve ceplerden de sondajlar yapılabilir (Şekil 3b.)



a) **b)**

Şekil 3. a) Ana yollardan metan drenajı, **b)** Üst taban yollarından metan drenajı (Kayabalı N., Büyükbaş, F., 2024)

Özellikle üst taban yolu olmak üzere taban yollarına paralel galeri sürerek de sondajlar yapılabilir (Şekil 4a.). Tavan galerilerinden de sondajlar yapılabilir ve üetim tamamlandıktan sonra galeri barajlanarak drenaja devam edilebilir (Şekil 4b.).

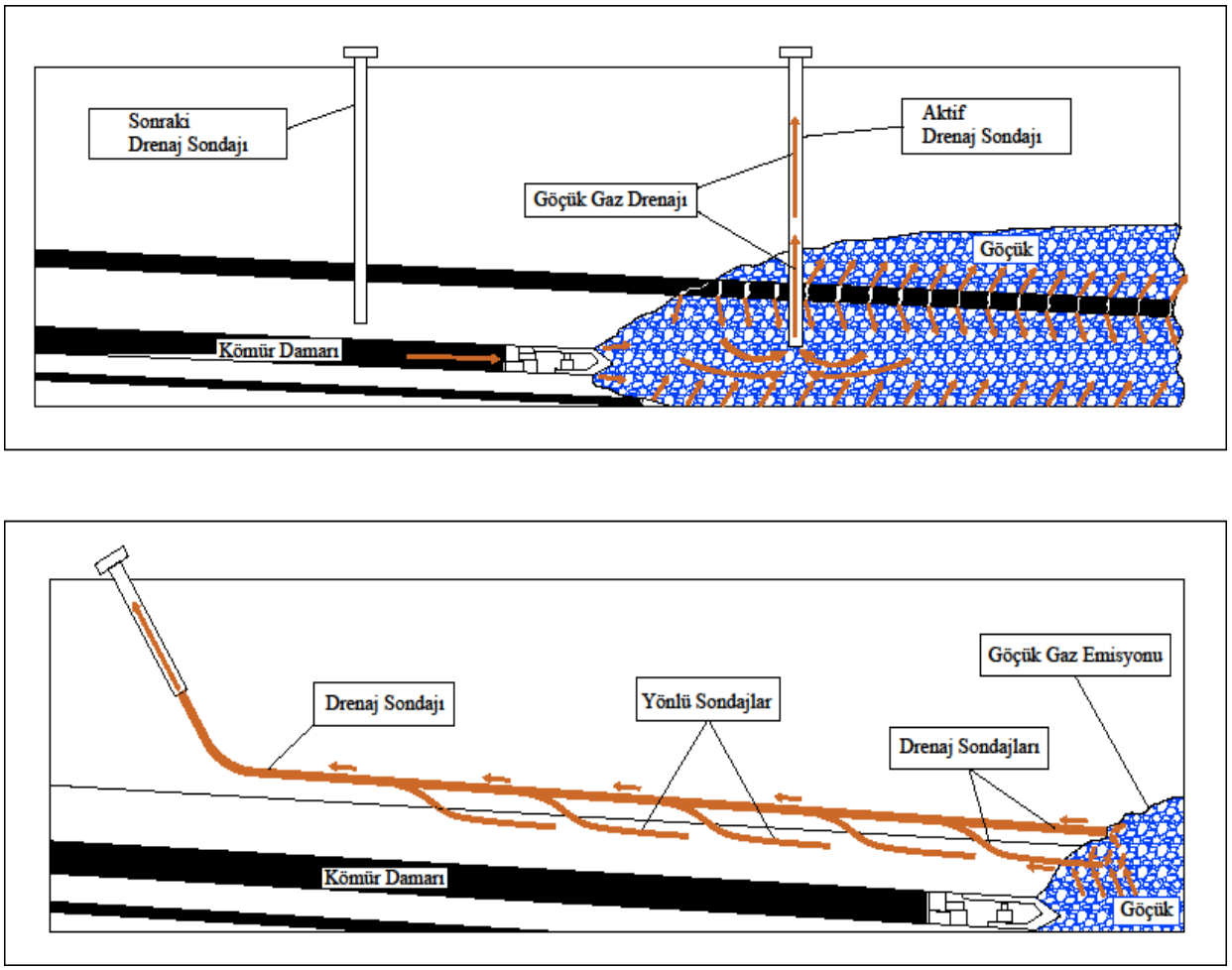


a) **b)**

Şekil 4. a) Taban yollarına paralel yollardan yapılan metan drenajı, **b)**Tavan galerisinden metan drenajı (Kayabalı N., Büyükbaş, F., 2024)

Bu tip drenajlar, yerüstünden dik veya yönlü açılan sondajlarla yapılan drenajlardır. Drenaj ocak şartlarına bağlı kalmaksızın yürütülebilir. Bütün tavan tabakalarını keser. Hiçbir madencilik çalışmalarının yapılmadığı noktalara kadar ulaşılarak drenaja geçilebilir (Kayabalı N., Büyükbaş, F., 2024).

Ayak göçüklerine ve eski imalatlarda yapılan sondajlar için genellikle su drenajı gerekmez. Ancak çalışma yapılmamış alanlarda suyun drene edilmesi zorunludur. Aksi halde gaz akışı olmaz (Şekil 5).



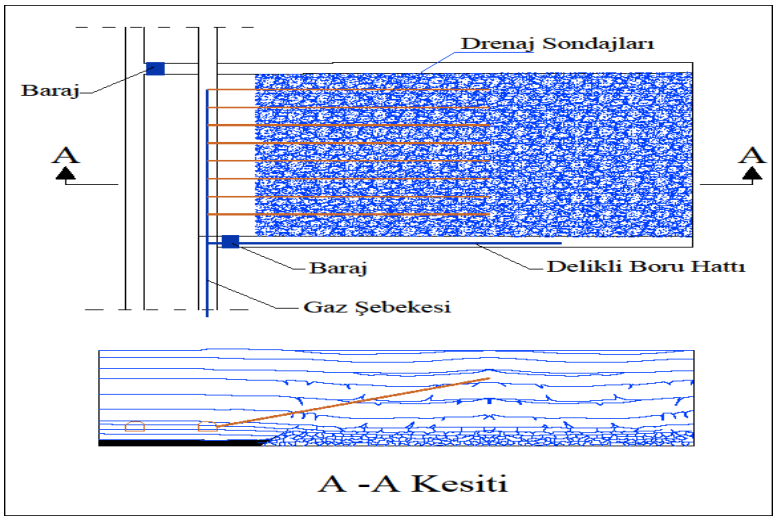
Şekil 5. Yüzeyden açılan sondajlarla metan drenajı (Kayabalı N., Büyükbaş, F., 2024)

2.1.2. Eski imalatlarda metan drenajı

Eski imalatlarda gaz geliri düşse dahi tabakalar belli bir miktar gaz içerdiği müddetçe gaz yayılımının tam olarak durması söz konusu değildir.

Özellikle atmosfer basıncı düştüğünde, göçükte biriken metan ocak açıklıklarına doğru hızla hareket edebilmektedir. Faylı ve geçirgenliği yüksek jeolojik yapılar bu hareketi desteklemektedir (Kayabalı N., Büyükbaş, F., 2024).

Üretimi tamamlanan panolar giriş ve çıkıştan barajlanarak kapatılır. Bu barajlar içinde bırakılan delikli borular ile veya panoya dışarıdan yapılan sondajlar ile drenaj yapılmaktadır. Drenaj geometrisi ocak şartlarına göre şekillenmektedir (Şekil 6).

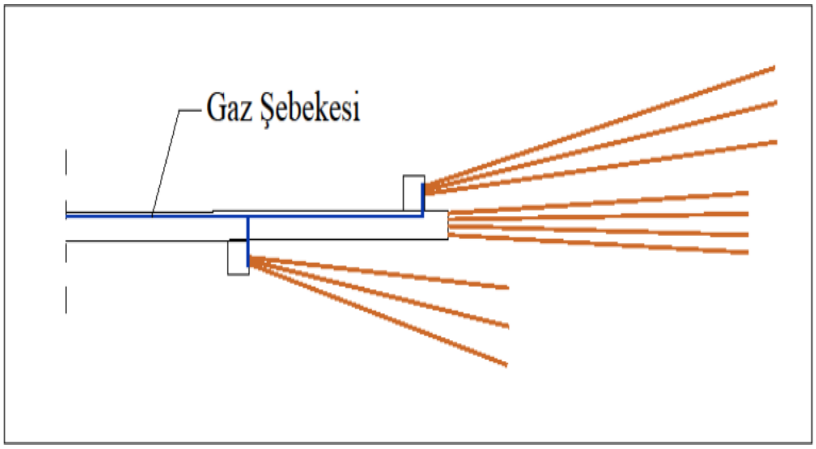


Şekil 6. Eski imalatlarda metan drenajı (Kayabalı N., Büyükbaş, F., 2024)

2.1.3. Hazırlıklarda metan drenajı

Arın sondajları ile kömür ve çevre kayaçların metan açısından rahatlaması sağlanmaktadır. Şebekeye bağlı olsun veya olmasın hepsi birer metan drenaj sondajıdır. Drenaj delikleri damar içinde, tavanda veya tabanda olabilmektedir.

Yolun her iki tarafına drenaj cepleri açılabilmektedir. Sondajlar, yol ekseni ile dar bir açı yapacak şekilde delinmektedir. Şartlara göre özellikle fay zonlarında veya damar gaz basıncının yüksek olduğu bölgelerde ceplerden yapılan sondajlar, ana gaz şebekesine bağlanarak kapalı devre metan drenajı yapılabilmektedir (Şekil 7).



Şekil 7. Hazırlıklarda metan drenajı (Kayabalı N., Büyükbaş, F., 2024)

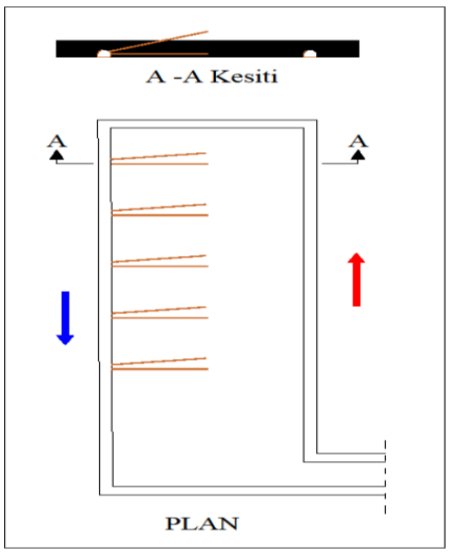
2.1.4. Üretimden önce metan drenajı

Metan drenajı, kömür ocaklarında damar ve tabakalardan atmosfere karışan metan gazının, işyeri ortamına ulaşmadan önce uzaklaştırılmasını amaçlayan bir yöntemdir. Bu uygulama ilk olarak İngiltere'de geliştirilmiş ve zamanla dünya genelinde hem güvenliği artırmak hem de ekonomik katkılar sağlamak amacıyla yaygınlaşmıştır.

Üretim öncesinde yapılan drenaj işlemi, kömür içerisindeki metan gazının yaklaşık %50 ila %90'ının tahliyesini mümkün kılar. Özellikle metan içeriği 10 m^3/ton'un üzerinde olan kömür yataklarında, üretimden önce mutlaka bu yöntemin uygulanması önerilir. Üretim esnasında yapılan drenaj ise genellikle %30 ile %60 arasında metan emilimi sağlar.

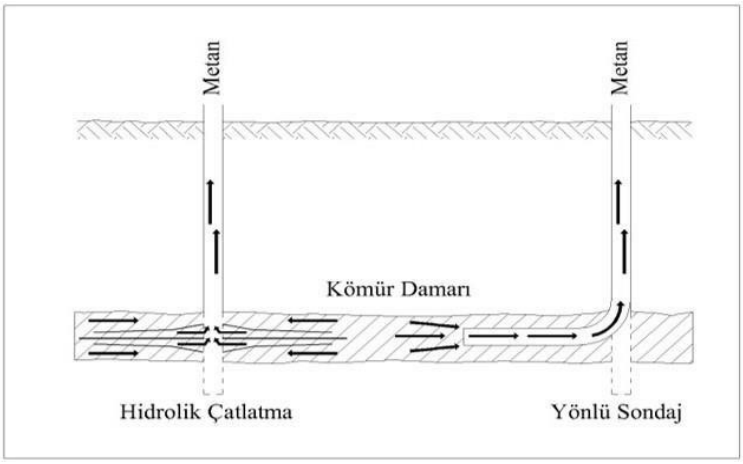
Bu işlem, kömür damarlarına ulaşılarak sondaj delikleri aracılığıyla gerçekleştirilir ve böylece ocak havasındaki metan oranı azaltılarak, ileride oluşabilecek patlama riskleri minimuma indirilmiş olur. Etkin bir sonuç alınabilmesi için metan drenajı, üretim başlamadan yaklaşık 2 ila 7 yıl önce uygulanmalıdır.

Kömür damarı içine yapılan sondajlar ile üretimden önce damar gaz basıncı/içeriği düşürülebilir. Eğer oksidasyon problemi yoksa üretim esnasında da aynı yöntem ile damar gaz basıncı/içeriği düşürülebilir (Şekil 8).

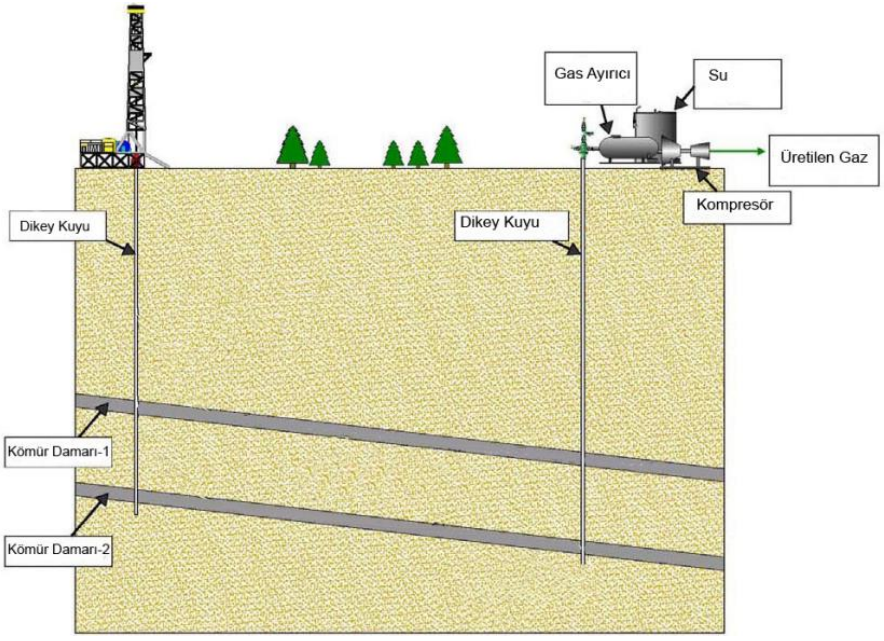


Şekil 8. Yeraltı sondajları (Kayabalı N., Büyükbaş, F., 2024)

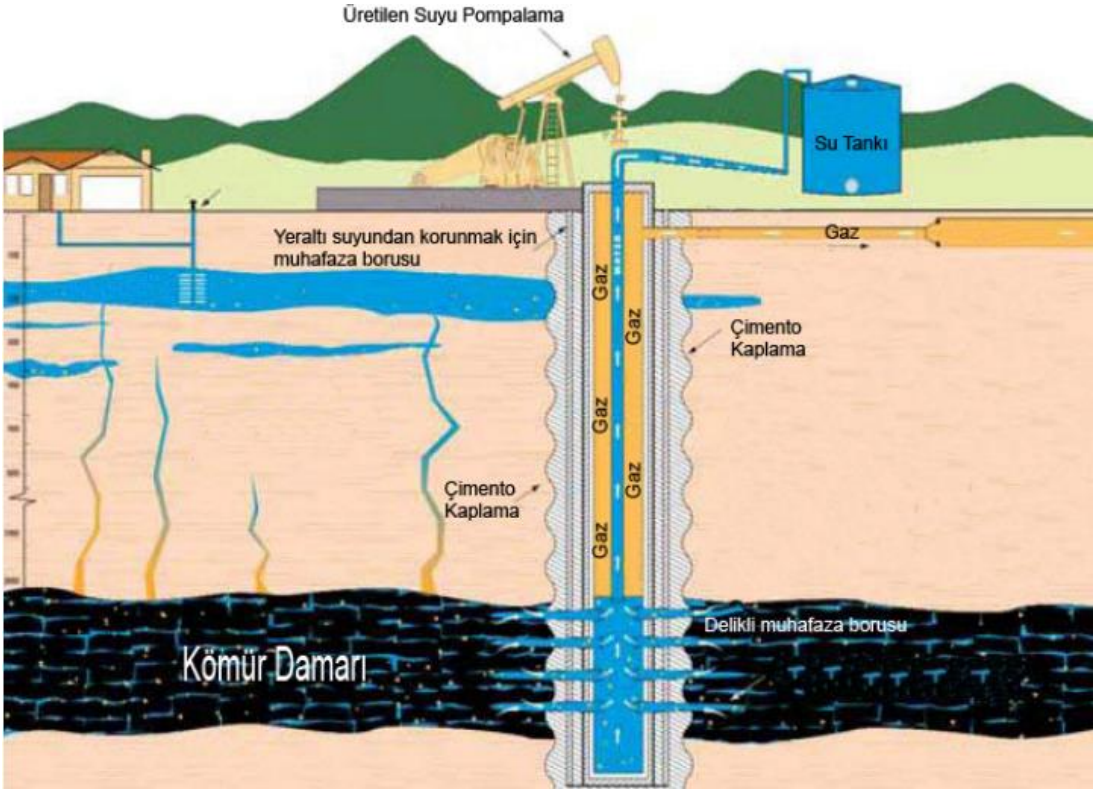
Yeraltı ve yerüstünde bakir veya permeabilitenin düşük olduğu bölgelerde gaz geliri hidrolik çatlatma ile artırılabilir. Ancak kömürün oksidasyona müsait olması veya sahanın irili ufaklı faylarla parçalanmış ve bu fayların hareketliliği-geçirgenliği durumunda, hidrolik çatlatma uygulaması ve sonuçları ayrıca değerlendirilmelidir (Şekil 9, 10, 11).



Şekil 9. Yerüstü sondajları (Kayabalı N., Büyükbaş, F., 2024)



Şekil 10. Üretim öncesi metan drenajı (Kural O., 2012)

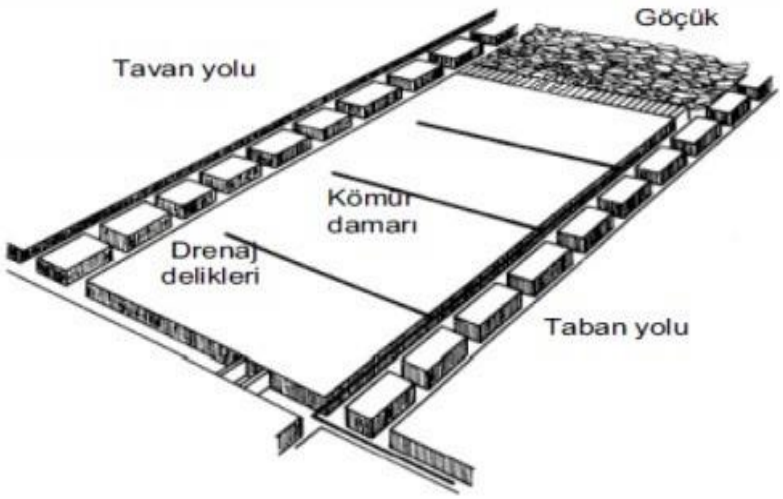


Şekil 11. Yer üstünden açılan dik kuyularla üretim öncesi metan drenajı (Ünver, B., Akbal M., 2010)

Bir madende üretim öncesi metan drenajı gerçekleştirilmiş olsa bile, üretim süreci boyunca bu uygulamaya devam edilmesi gereklidir.

2.1.5. Yatay sondaj delikleri ile metan drenajı

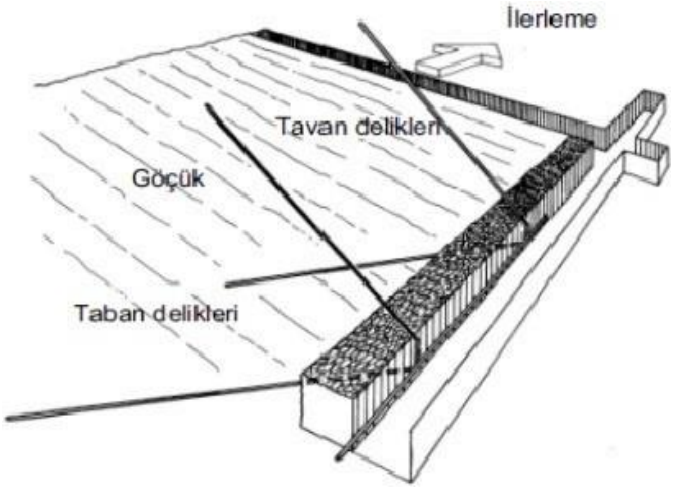
Tavan ve taban bölgelerine açılan delikler aracılığıyla metan gazı ortamdan çekilerek, yeraltında uygun ekipmanlarla toplanır ve yer üstüne taşınır. Bu yöntemin, pano üretimine başlanmadan önce devreye alınması ve üretim süresince de sürdürülmesi önerilir (Şekil 12). Bu sayede işçi sağlığı ve iş güvenliği kapsamında metan kaynaklı risklerin kontrol altına alınması hedeflenir. Yaklaşık 300 metre uzunluğundaki delikler "kısa delik" olarak tanımlanmakta olup bu sistemle %20 civarında metan tahliyesi sağlanabilirken, 1200 metreye ulaşan uzun deliklerde bu oran %40'a kadar çıkabilmektedir (McPherson, 2004).



Şekil 12. Yatay sondaj delikleri ile drenaj (McPherson, 2004)

2.1.6. Çapraz sondaj delikleri ile metan drenajı

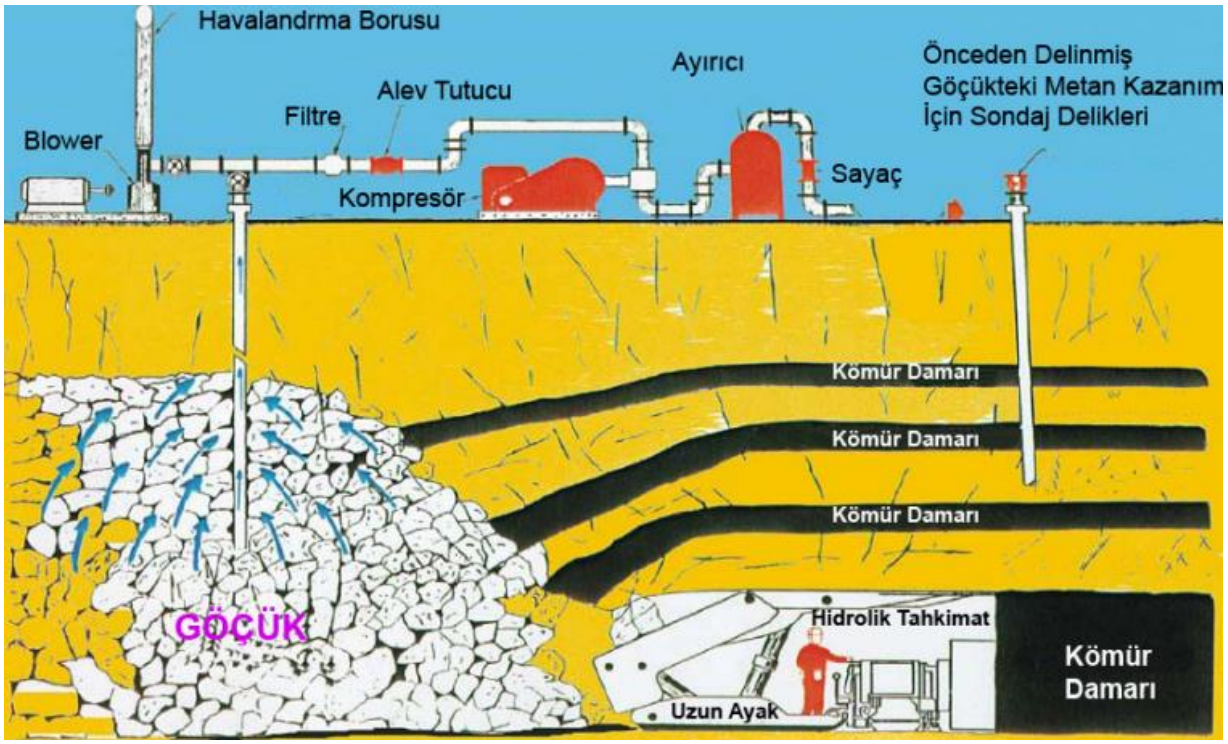
Özellikle metan çıkışının hem tavan hem de taban yönlerinden gerçekleştiği durumlarda, maden açıklıklarına belirli açılarla ve çapraz şekilde açılan sondaj delikleri aracılığıyla metan drenajı uygulanmaktadır (Şekil 13). Bu yöntem, gazın kontrollü bir şekilde tahliyesine olanak sağlar (McPherson, 2004).



Şekil 13. Tavan ve tabana açılan çapraz deliklerle drenaj (McPherson, 2004)

2.1.7. Göçükten metan drenajı

Yeraltı kömür madenlerinde, göçüğe terk edilen bölgelere metan gazının birikmesi sıkça gözlemlenir. Bu bölgelerde, yüzeyden dikey sondajlar açarak ya da degazifikasyon galerilerinden yönlendirilen sondajlarla, göçüğe terk edilen alandaki metan gazı emilimi sağlanır (Şekil 14). Yüzeyden yapılan sondajlarla elde edilen metan gazının içeriği genellikle %30 ile %70 arasında değişmektedir.



Şekil 14. Göçükten metan drenajı uygulamasına bir örnek (Hartman v.d., 1997)

Drenaj sistemlerinin verimliliği ile elde edilen gazdaki metan miktarı; sondajların konumlandırılmasına, kömür damarında bulunan gaz miktarına, uygulanan üretim tekniğine, damar sayısına, damar kalınlığına ve gazın toplanma süresine göre farklılık göstermektedir.

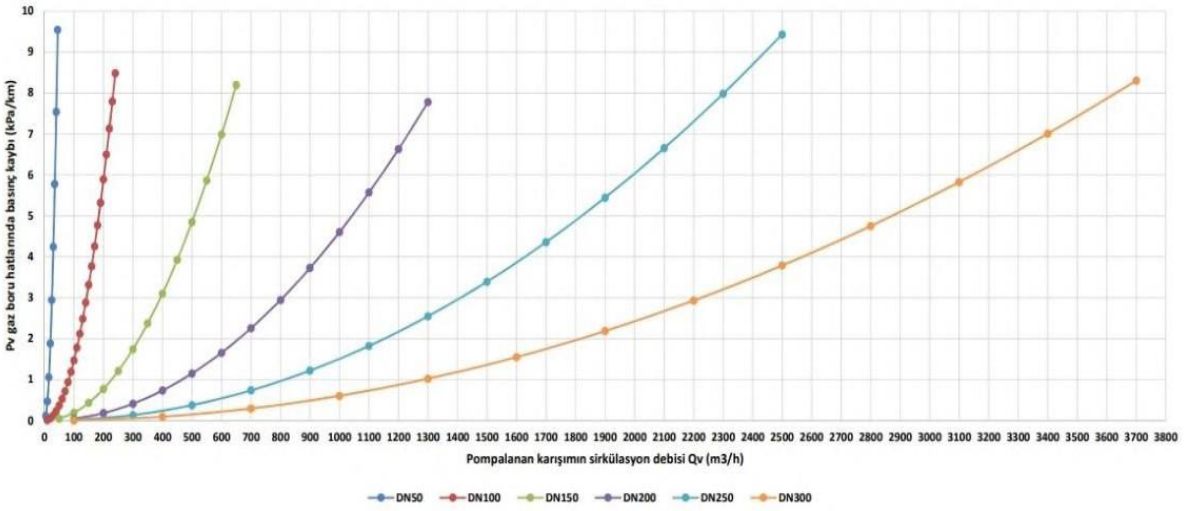
Aşağıdaki çizelgede drenaj yöntemlerinin karşılaştırılması verilmiştir (Çizelge 13).

Çizelge 13. Drenaj yöntemlerinin karşılaştırılması **(**Kural O., 2012)

Drenajın Yöntemi	**Yöntemin Tanımı**	**Drenajın Verimi**	**Gazın Kalitesi**
Düşey Kuyularla Yapılan Drenaj Yöntemi	Gazın tahliye edilebilmesi amacıyla, yüzeyden kömür damarına doğru sondaj yapılır ve bu işlem, damar henüz işletmeye alınmadan önce gerçekleştirilir.	≤ 70,00	Oldukça saf bir metan
Göçük Kuyularıyla Yapılan Drenaj Yöntemi	Madencilik faaliyetlerinden önce, hedeflenen kömür damarının yaklaşık 3 ila 15 metre üzerine kadar sondaj yapılır ve bu delikler yalnızca göçertme işlemi tamamlandıktan sonra aktif hale getirilir.	≤ 50,00	Maden havası ile kirletilmiş metan
Yatay Deliklerle Yapılan Drenaj Yöntemi	Hazırlık galerilerinden kömür damarının içine doğru sondaj çalışmaları gerçekleştirilir.	≤ 20,00	Saf metan
Çapraz Delikler Yapılan Drenaj Yöntemi	Maden açıklıklarından başlayarak kömür damarını saran jeolojik katmanlara doğru yönlendirilerek açılan deliklerdir.	≤ 20,00	Maden havası ile kirletilmiş metan

2.2. Metan Drenaj Şebekesi

Gaz şebekesi; drenaj sondajlarının boru şebekesi ile emici pompaya bağlanması işlemidir. Şebeke; hortumlar, vanalar, borular, ölçme plakası, su tutucuları ve pompadan oluşmaktadır. Boru çapları arttıkça, şebeke basınç kayıpları düşmektedir (Şekil 15).



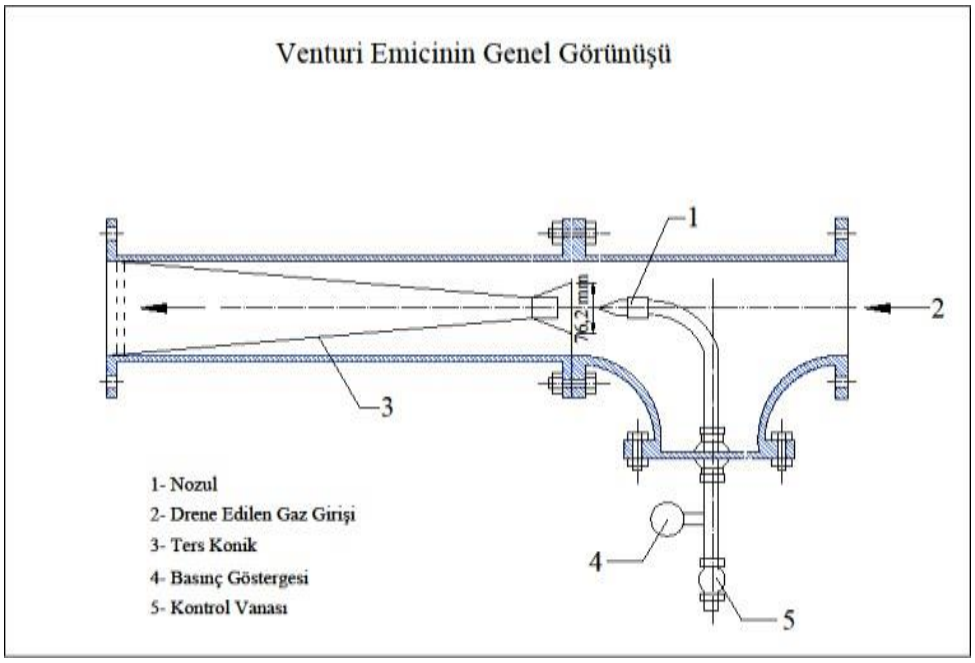
Şekil 15. %60 CH_4 konsantrasyonlu gaz karışım miktarına bağlı olarak DN 60 ile DN 300 arasındaki gaz boru hatlarında basınç kaybı (Zelenak S, 2022)

Şebeke, tahmini metan gelirine göre planlanmaktadır. Burada jeolojik ve tektonik yapı, damar yoğunluğu, damar kalınlığı, gaz içeriği, kömür ile çevre kayaçların geçirgenlikleri, ocak metan emisyonu, ocak-kuyu mesafe ve derinlikleri göz önünde bulundurulmaktadır (Şekil 16).

Şekil 16. Sondaj-Gaz şebekesi bağlantıları (Kayabalı N., Büyükbaş, F., 2024)

Ventürilerin basınçlı hava ile çalışmaları, pratik, ucuz ve kolay monte edilebilmeleri ile lokal uygulamalarla metan sorununu çözebilmeleri önemli avantajları arasında yer almaktadır. Ayrıca daha yüksek kapasiteli ve elektrikli

metan drenaj istasyonları da, yeraltı veya yerüstünde kurulabilmektedir (Şekil 17, 18).



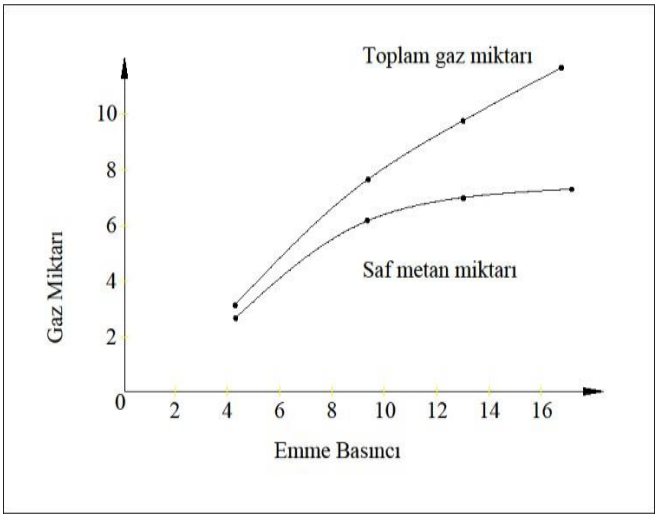
Şekil 17. Ventüri emicinin kesit görünüşü (Kayabalı N., Büyükbaş, F., 2024)

Şekil 18. Emiciler (Ventüri-Pompa) (Kayabalı N., Büyükbaş, F., 2024)

2.3. Ölçüm ve Kontrol

Metan gelirinin ölçüm ve kontrolü yapılırken özetle aşağıda yer alan maddelere dikkat edilmesi gerekmektedir.

- Sondajlarda ve şebekede optimum emme basıncı düzenlenmelidir (Şekil 19).



Şekil 19. Emme basıncının saf metan miktarına etkisi (Kayabalı, 1989)

- Sondaj-Şebeke bağlantıları sızdırmazlık için sürekli kontrol edilmelidir.
- Şebekenin susuzlandırma kontrolleri yapılmalıdır.
- Şebekenin topraklaması yapılmalıdır.
- Sondajlarda metan geliri %30'un altına düşerse veya oksijen %8'in üzerine çıkarsa şebeke basıncı regüle edilmelidir. Buna rağmen gaz veya oksijen konsantrasyonlarında istenilen seviyelere ulaşılamıyorsa sondaj iptal edilebilir, beklemeye alınabilir ve tekrar ölçümler yapılabilir. Yine de olumlu bir sonuç alınamıyorsa başka bir sondaj açılabilir.
- Oksijen %6 seviyesinde veya daha da altında ise daha düşük konsantrasyonlarda metan emilimi yapılabilir.

3.BULGULAR VE TARTIŞMA

Metan gazı ile üretim arasında ters bir ilişki bulunmaktadır. Ortamda yüksek metan konsantrasyonu tespit edilirse, üretim durdurulmak zorunda kalınır ve bu durum ekonomik kayıplara yol açabilir.

Üretim öncesi yapılan metan drenajı ile gazın yaklaşık %50 ila %90'ı

emilerek ortamdan uzaklaştırılır. Bu sayede yeraltı çalışmalarında metan gazının tehlike oluşturması engellenir. Metan seviyelerinin düşmesiyle havalandırma maliyetlerinde azalma sağlanır, ayrıca metan nedeniyle üretim kesintilerinin süreleri kısalır, bu da iş verimliliğini artırır ve maliyetleri düşürür.

Metan drenajı ayrıca toz oluşumunu da azaltarak daha sağlıklı bir çalışma ortamı yaratır. Elde edilen metan, elektrik üretiminden kömür kurutma işlemlerine, araç yakıtından ısınma-soğutma sistemlerine kadar çeşitli alanlarda kullanılmaktadır. Ayrıca metan, doğal gaz boru hatlarına da aktarılabilmektedir.

Metan drenajı yapılan ocaklarda havalandırma maliyetlerinde önemli bir azalma gözlemlenir. Bu durum, aşağıdaki grafikle daha açık bir şekilde görülebilir (Şekil 20).

Şekil 20. Metan drenajının havalandırma maliyetine etkisi (Durşen M., Yasun B., 2012)

4.SONUÇLAR

Sonuç olarak, yeraltı çalışma ortamlarında meydana gelen gaz salınımları hem çalışanlar hem de işletmeler için ciddi tehlikeler oluşturabilir, kalıcı sağlık sorunlarına yol açabilir ve hatta çalışanların hayatını kaybetmesine dahi sebep

olabilir. Bu nedenle, maden projelerinin ve operasyonlarının, madencilik bilim ve teknolojilerine uygun bir şekilde gerçekleştirilmesi, güvenlik önlemlerinin sağlanması ve işletme verimliliğinin korunması açısından çok önemlidir.

Maden işletmeleri, uygulanan tüm süreçlerin bir bütün olarak ele alınmasını gerektirir. İşçi sağlığı ve iş güvenliği önlemleriyle uyumlu olmayan herhangi bir çalışma, verimli bir şekilde yürütülemez. Yeraltı madenleri, işçi sağlığı ve iş güvenliği bakımından en yüksek riskleri taşıyan alanlardan biridir. Bu yüzden, işverenler ve çalışanlar için düzenlenecek eğitimlerle, yeraltı gazlarının tanınması, risklerin anlaşılması ve potansiyel tehlikelerin fark edilmesi sağlanmalıdır. Bu, yeraltı madenlerinde güvenlik kültürünün sürekliliğini garantileyecektir.

Unutulmamalıdır ki; yeraltındaki kömür ocakları, işçi sağlığı ve iş güvenliğini ilgilendiren konularda en yüksek risklerden birini taşımaktadır. Bu çalışmada yeraltı kömür ocaklarındaki metan drenajının işçi sağlığı ve iş güvenliği açısından öneminin bir değerlendirilmesi yapılmaya çalışılmıştır.

Metan drenajı ile damar gaz basıncı/içeriği ve ocak açıklıklarındaki metan konsantrasyonu düşürülerek metan kaynaklı tehlikelerin önüne geçilebilmektedir.

Metan drenajı ile daha efektif bir havalandırma sistemi de mümkün olabilmektedir (İşçi sağlığı ve iş güvenliği, ocak yangınlarını önleme, tozla mücadele, ocak iklimi, maliyet vb.).

Ocak havasındaki metan konsantrasyonu yasal limitlere göre üretim ve hazırlık işlerini sınırlandırabilmektedir. Metan drenajı, sınırlı üretim miktarının ve hazırlık ilerlemelerinin arttırılmasına yardımcı olabilmektedir.

Üretimden önce yapılan drenajda damar gaz içeriği ve permeabilitenin düşüklüğü durumunda hidrolik çatlatma yapılabilir.

Yönlü sondajlar ile yeraltı ve yerüstünden daha efektif metan drenajı yapılması mümkün olabilmektedir.

Yerüstü metan drenaj istasyonları ile metan gazı yakılarak sera gazı etkisi de düşürülebilmektedir.

Türkiye özelinde yeraltı ocaklarında metan drenajı ve havalandırma ile ilgili olarak yapılacak düzenlemelerde ve çıkarılacak yönetmeliklerde eksikliklerin bulunması, bu tür mevzuat değişikliklerinde paydaşların katılımını zorunlu kılmaktadır. Günümüze kadar muğlakta kalmış ya da eksik ifadelerle yapılan mevzuat değişikliklerinin hem madencilik sektörünü zor duruma soktuğu hem de işçi sağlığı ve iş güvenliği açısından çeşitli sorunlar ortaya çıkarttığı çok açıktır. Bu kapsamda, işinin ehli olan bürokrat ve siyasetçilerin yanı sıra kamu kurumları ve özel sektörde görev alan ve metan drenajı ile yakından ilgili Maden Mühendislerinin, üniversitelerimizde görev alan yetkin öğretim üyelerinin ve sivil toplum kuruluşlarının da katılımıyla tüm paydaşların görüşlerini paylaşabileceği ve tartışabileceği platformların oluşturulması sağlanmalıdır.

Ayrıca, yeraltı ocaklarında metam drenajı ve havalandırma sistemleri ile ilgili uygulamaların iyileştirilebilmesi, bu doğrultuda teknik personelin geliştirilebilmesi için kamu kurumları ve özel sektörün yeraltı ocaklarında yapılacak çalışmalara öncelik vermesinin büyük önem arz ettiği düşünülmektedir. Zira metan drenajı ve yeraltı havalandırma sistemleri konusunda dünyada geliştirilen kavramlar ve yasal mevzuatın, ciddi bütçeli ve önemli araştırma faaliyetleri sonucunda ortaya çıktığı da göz ardı edilmemelidir. Ayrıca, yeraltı ocaklarında görev yapan teknik personelin konuyla ilgili bilgi ve merakının geliştirilmesi için eğitim programlarının geliştirilmesi ve uygulanmasının da çok faydalı olacağı düşünülmektedir.

Yeraltı ocaklarında metan drenajının en etkin işçi sağlığı ve iş güvenliği aracı olduğu unutulmamalı ve bu konuya gereken önem mutlaka verilmelidir. Aksi takdirde ülkemiz Türkiye'de geçmiş yıllarda tecrübe edilen acı olayların tekrar yaşanacağı ve yeraltı madencilik sektörünün her geçen gün saygınlığını yitirmeye devam edeceği de unutulmamalıdır. Bu amaçla önceki bölümlerde izah edilmeye

çalışılan sorunlar ve eksiklikler hakkında tüm meslek paydaşlarımızın üzerlerine düşeni eksiksiz yapmaları ve sorumluluk alması gerekmektedir.

KAYNAKLAR

Durşen M., Yasun B., 2012. Yeraltı Madenlerinde Bulunan Zararlı Gazlar ve Metan Drenajı.

Evrensel (2012). Evrensel gazetesi, https://www.evrensel.net/haber/25342/suluovada madende- zehirlenme.

Güyagüler, P. D. T., Karakas, A., Güngör, A., "Occupational Health and Safety in Mining Industry", Ankara, 2005.

Habertürk, (2015). Habertürk gazetesi, https://www.haberturk.com/yerel-haberler/haber/5358822-burdurdaki-krom-madeninde-gaz-zehirlenmesi.

Habertürk, (2013). Habertürk gazetesi, https://www.haberturk.com/gundem/haber/900894--maden-ocaginda-gaz-zehirlenmesi.

Hartman, H., Mutmansky, J.M., Ramanı, R.V., Wang, Y.J., 1997, Mine Ventilation and Air Conditioning, 3. Baskı, John Wiley & Sons, New York.

Yenişafak, (2022). Yenişafak gazetesi, https://www.yenisafak.com/gundem/iste-turkiyenin-maden-kazasi-bilancosu-.

Kayabalı, N. 1989. TTK Kozlu Müessesesi Çay Damarında Metan Drenaj Deliklerinin Tasarımında Etkili Geometrinin Araştırılması, Hacettepe Üniversitesi, Zonguldak.

Keith W, Van Meter. Carbon monoxide Poisoning. In Tintinalli JE, Kelen GD, Stapczynski JS (eds). Emergency Medicine A Comprehensive Study Guide, New York: McGraw-Hill, 2000:1302-06.

Kural O., (2012) Madencilikte Özel Konular.

McPherson, M., 2004, Subsurface Ventilation and Environmental Engineering, Chapter 12 Methane.

Ünver, B., Akbal M., 2010. Kömür Madenlerinde Metan Yönetimi Kısa Teknik Rapor.

Zelenak, S. 2022. Polyak Eynez Linyit İşletmesi Metan Drenaj Projesi, İzmir, 3.

Wikipedia, https://en.wikipedia.org/wiki/Mining_accident, 2010-2025.

Kayabalı N., Büyükbaş F. 2024. Metan Drenajı, Türkiye 23. Uluslararası Kömür Kongresi ve Sergisi Bildiriler Kitabı, 12-13 Eylül 2024, Zonguldak

YERALTI MADEN İŞLERİNDE DOMUZ DAMI UYGULAMASINA YÖNELİK ERGONOMİK RİSK DEĞERLENDİRMESİ: REBA YÖNTEMİYLE BİR ALAN İNCELEMESİ

ERGONOMIC RISK ASSESSMENT FOR THE APPLICATION OF CHOCK SUPPORT IN UNDERGROUND MINING WORKS: A FIELD STUDY WITH REBA METHOD

Oğuz Çelikdağ
Usem Akademi Eğitim Eğitim ve Danışmanlık Hizmetleri Ticaret Limited Şirketi

ÖZ: Bu çalışma, Türkiye'de yer altı kömür madenciliğinde yaygın olarak kullanılan geleneksel tahkimat yöntemi olan Domuz Damı uygulamasının ergonomik risklerini değerlendirmeyi amaçlamaktadır. Hızlı Tüm Vücut Değerlendirme (REBA) yöntemi kullanılarak, saha uygulamalarına ait video kayıtları üzerinden detaylı bir postür analizi gerçekleştirilmiştir. Boyun, gövde, üst ve alt ekstremiteler gibi vücut bölgeleri, işin gerektirdiği duruş yükleri, kuvvet kullanımı ve kavrama koşulları açısından değerlendirilmiştir. Nihai REBA skoru 9 olarak hesaplanmış, bu da yüksek ergonomik risk düzeyine işaret etmekte ve acil müdahale gerektirmektedir.

En yüksek risk puanları, sık öne eğilme nedeniyle gövde (3 puan) ve boyun (2 puan) bölgelerinde saptanmıştır. Üst kol ve bacaklar da REBA skorlamasına göre 9 puan ile yüksek düzeyde postürel yüklenme göstermiştir. Literatür taramaları, bu tür geleneksel yöntemlerin genellikle tekrarlayıcı hareketler, asimetrik yüklenmeler ve yoğun fiziksel efor içerdiğini, bunun da madencilerde kas-iskelet sistemi hastalıkları (MSD) riskini artırdığını ortaya koymaktadır.

Bu risklerin azaltılmasına yönelik olarak, ayarlanabilir çalışma platformları, mekanik kaldırma yardımcıları, ergonomik el aletleri, kas grubuna dayalı rotasyon sistemleri ve doğru postür eğitimi içeren çok boyutlu bir müdahale planı önerilmektedir. Sonuç olarak, bu çalışma Türkiye'deki yer altı kömür madenciliğinde Domuz Damı uygulamasının ergonomik risklerini REBA yöntemiyle değerlendiren öncü bir çalışma olarak, iş güvenliği ve çalışan sağlığına yönelik önemli bir adım teşkil etmektedir.

Anahtar Kelimeler: Ergonomi, Yeraltı Madenciliği, Domuz Damı, REBA, Kas-İskelet Sistemi Bozuklukları, Video Analizi.

ABSTRACT: *This study aims to evaluate the ergonomic risks of the chock support, which is a traditional support method widely used in underground coal mining in Turkey. A detailed posture analysis was performed on video recordings*

of field applications using the Rapid Entire Body Assessment (REBA) method. Body parts such as neck, trunk, upper and lower extremities were evaluated in terms of the posture loads, force usage and grip conditions required by the work. The final REBA score was calculated as 9, indicating a high ergonomic risk level and requiring urgent intervention.
The highest risk scores were found in the trunk (3 points) and neck (2 points) regions due to frequent forward bending. The upper arms and legs also showed a high level of postural loading with a score of 9 according to the REBA score. Literature reviews reveal that such traditional methods usually involve repetitive movements, asymmetrical loads and intense physical effort, which increases the risk of musculoskeletal disorders (MSD) in miners.
In order to reduce these risks, a multidimensional intervention plan including adjustable work platforms, mechanical lifting aids, ergonomic hand tools, rotation systems based on muscle groups and correct posture training is suggested. In conclusion, this study constitutes an important step towards occupational safety and worker health as a pioneering study evaluating the ergonomic risks of chock support application in underground coal mining in Türkiye with REBA method.

Keywords: *Ergonomics, Underground Mining, Chock support, REBA, Musculoskeletal Disorders, Video Analysis.*

1. GİRİŞ

Yeraltı madenciliği, ağır fiziksel yük, kısıtlı çalışma alanı, tekrarlayıcı hareketler ve zorlu çevresel koşullar nedeniyle çalışan sağlığı açısından yüksek riskli sektörler arasında yer almaktadır. Bu koşullar, madencilik sektörünü kas-iskelet sistemi bozuklukları (KİSB) açısından en hassas alanlardan biri haline getirmektedir. Özellikle üretim öncesi hazırlık safhasında yapılan ağır ve tekrarlayıcı işler, uzun vadede iş göremezlik, üretim kaybı ve iş kazası riskini artırmaktadır. Türkiye gibi kömür üretiminde yer altı madenciliğine ağırlık veren ülkelerde, bu tür ergonomik risklerin sistematik olarak değerlendirilmesi hayati öneme sahiptir.

Bu bağlamda, Soma kömür havzasında yaygın olarak uygulanan Domuz Damı tahkimat yöntemi, ergonomik açıdan dikkatle incelenmesi gereken kritik bir süreçtir. Domuz damı, ayak içerisinde galeri tavanının çökmesini önlemek amacıyla yerleştirilen odun direk ve hatılların kullanıldığı geleneksel bir tahkimat

tekniğidir. Her ne kadar ekonomik ve kolay uygulanabilir olması nedeniyle tercih edilsede, uygulama sırasında işçiler tekrarlayıcı eğilme, yukarı doğru bastırma, dengesiz yük taşıma gibi ciddi fiziksel zorlanmalara maruz kalmaktadır. Bu durum, kas-iskelet sistemi hastalıklarının gelişim riskini artırmakta ve iş güvenliği açısından önleyici stratejilere duyulan ihtiyacı ortaya koymaktadır.

Literatürde yer altı madenciliğine ilişkin çok sayıda ergonomi çalışması bulunmakla birlikte, Domuz Damı gibi yerel ve geleneksel uygulamalara özgü ergonomik analizlere sınırlı sayıda rastlanmaktadır. Uluslararası alanda REBA (Rapid Entire Body Assessment) gibi değerlendirme yöntemlerinin kas-iskelet sistemi üzerindeki etkilerin belirlenmesinde etkin biçimde kullanıldığı bilinmektedir. Ancak Türkiye bağlamında, bu yöntemin madencilikteki spesifik uygulamalara entegre edilerek kullanımı henüz yaygınlaşmamıştır.

Bu çalışma, yer altı madenciliğinde yaygın olarak kullanılan Domuz Damı tahkimat sisteminin ergonomik risklerini, kompleks ve dinamik işlerdeki riskleri hızlı bir şekilde belirleme özelliği sayesinde REBA yöntemiyle analiz ederek, mevcut çalışma pozisyonlarının kas-iskelet sistemi üzerindeki etkilerini nesnel olarak ortaya koymayı amaçlamaktadır. Video analizi destekli bu alan çalışması ile hem sektöre özgü somut bulgular sunmak hem de ergonomik iyileştirme önerilerine bilimsel dayanak sağlamak hedeflenmektedir.

2. YÖNTEM

2.1. Çalışma Alanı ve Metodoloji

Bu araştırma, Türkiye'nin Soma kömür havzasında faaliyet gösteren bir yer altı maden işletmesinde yürütülmüştür. Çalışmanın odak noktası olan "Domuz Damı" tahkimat sisteminin ergonomik risklerinin değerlendirilmesi amacıyla saha gözlemleri gerçekleştirilmiştir. Domuz Damı uygulaması, üretim öncesi hazırlık aşamasında kritik bir öneme sahip olup, bu süreçte maden işçileri önemli düzeyde fiziksel efor harcamaktadır.

2.2. REBA Yöntemi

REBA (Rapid Entire Body Assessment), çalışma pozisyonlarındaki kas-iskelet sistemi risklerini değerlendirmek amacıyla geliştirilmiş, gözleme dayalı bir ergonomik analiz yöntemidir. Metodoloji, vücudu A Grubu (gövde, boyun, bacaklar) ve B Grubu (üst kol, ön kol, el bileği) olmak üzere iki ana segmentte inceler. Her bir segment, postür, uygulanan kuvvet ve kavrama koşulları dikkate alınarak ayrı ayrı puanlanır. Elde edilen puanlar, özel değerlendirme matrisleri aracılığıyla birleştirilerek nihai bir risk skoru oluşturulur. Bu skor, ergonomik risk düzeyini ve dolayısıyla müdahale gerekliliğini gösterir.

2.3. Veri Toplama ve Analiz Yöntemi

Bu çalışmada saha gözlemleri, maden işçilerinin doğal çalışma davranışlarını etkilememek amacıyla gizli noktalara yerleştirilen aksiyon kameralarıyla video kaydı altına alınmıştır. Her bir işçi için ayrı ayrı video görüntüsü analiz edilmiş olup, kayıtlar kare kare incelenerek REBA değerlendirmesine esas teşkil eden vücut pozisyonları detaylı olarak belirlenmiştir. Bu yöntem, ani postür değişimlerinin ve kuvvet uygulama anlarının yüksek doğrulukla tespit edilmesine olanak sağlamıştır.

2.4. Veri Analizi

Video kayıtlarından elde edilen ham veriler, standart REBA analiz formlarına titizlikle aktarılmıştır. Her bir katılımcının gerçekleştirilen iş sırasındaki en kritik ve yüksek zorlanma içeren postürü esas alınarak REBA skorlaması yapılmıştır. Analiz süreci aşağıdaki sistematik adımlar izlenerek gerçekleştirilmiştir:

- Her bir işçinin çalışma döngüsü içerisindeki en sık gözlemlenen ve en yüksek fiziksel zorlanmayı temsil eden postürleri belirlenmiştir.
- Seçilen bu kritik postürler için boyun, gövde, bacaklar, üst kol, ön kol ve el bileği pozisyonları ayrı ayrı değerlendirilmiştir.

- Eş zamanlı olarak kavrama şekli ve taşınan yükün ağırlığı gibi ek faktörler dikkate alınarak bireysel vücut segmentleri için düzeltme faktörleri uygulanmıştır.
- Standart REBA değerlendirme matrisleri kullanılarak her bir postür için nihai risk skorları hesaplanmıştır.
- Elde edilen risk skorları, REBA yöntemi tarafından tanımlanan risk seviyelerine göre sınıflandırılmış ve her bir iş görevi için müdahale önceliği belirlenmiştir.

Bu kapsamlı analiz yaklaşımı sayesinde, maden işçilerinin maruz kaldığı fiziksel yüklenmelerin nesnel olarak ölçülmesi ve çalışma alanına özgü bir ergonomik risk profilinin oluşturulması mümkün kılınmıştır.

3. BULGULAR

Bu çalışmada, yer altı kömür madenciliğinde yaygın olarak kullanılan Domuz Damı tahkimat yönteminin uygulama aşamaları, saha gözlemleri ve video kayıtları aracılığıyla detaylı bir şekilde analiz edilmiştir. Elde edilen nitel ve nicel veriler, REBA (Rapid Entire Body Assessment) yöntemi kullanılarak değerlendirilmiş ve maden işçilerinin maruz kaldığı ergonomik risk düzeyleri sistematik olarak belirlenmiştir. Analiz sonucunda elde edilen bulgular, öncelikle etkilenen kas gruplarına göre sınıflandırılmış olup, en yüksek düzeyde zorlanmaya maruz kalan vücut bölgeleri ve kritik risk taşıyan iş adımları ayrıntılı olarak sunulmuştur.

3.1.REBA Puanlarının Dağılımı

Video analizleri sonucunda yapılan REBA hesaplamalarında aşağıdaki vücut bölgesi puanları saptanmıştır ve Çizelge 1'de verilmiştir.

Çizelge 1. Video analizleri sonucu REBA Hesaplamaları

Vücut Bölgesi	**Gözlenen Postür**	**REBA Puanı**
Boyun	Öne eğilmiş, bükülü	2
Gövde	Belirgin öne eğilme, torsiyon	3
Bacaklar	Asimetrik duruş, destek eksikliği	1
Üst Kol	Omuz seviyesinin üzerinde çalışma	2
Alt Kol	Uygun olmayan açı, yük altında çalışma	1
El-Bileği	Bükülü, rotasyonlu pozisyon	1
Kavrama Tipi	Orta düzeyde güç gerektiren kavrama	+1
Kuvvet/Yük Faktörü	Ağır kütük kaldırma ve bastırma hareketleri	+1
Toplam REBA Skoru		9

Bu skora göre iş pozisyonu "yüksek risk" kategorisinde yer almakta ve ergonomik müdahale gereklidir.

3.2. Kas Gruplarına Göre Risk Dağılımı

REBA analizi sonucunda, Domuz Damı uygulama sürecinde çalışanların belirli kas ve eklem bölgelerinde önemli düzeyde zorlanma tespit edilmiştir. Bu zorlanmalar, aşağıdaki şekilde kas gruplarına göre özetlenmiştir:

Bel ve Alt Sırt Bölgesi: Gövdenin sıklıkla arkaya eğik ve desteksiz pozisyonlarda bulunması nedeniyle bu bölgede maksimum düzeyde postürel yüklenme gözlemlenmiştir.

Omuz ve Üst Kol: Ağır kütüklerin yerleştirilmesi sırasında sıklıkla omuz hizasının üzerinde gerçekleştirilen çalışmalar, rotator manşet kaslarında belirgin yüklenmelere neden olmuştur.

Diz ve Bacak Kasları: Düzensiz ve dengesiz zeminlerde yürüyüş ve çalışma aktiviteleri, diz eklemlerinde kompresif kuvvetlere ve bacak kaslarında aşırı kullanıma yol açmıştır.

El Bileği ve Ön Kol: Kütüklerin kavranması ve itilmesi gibi manevralar sırasında el bileğinde torsiyonel kuvvetler ve ön kol kaslarında gerilmeler saptanmıştır.

Bu bulgular, Domuz Damı uygulamasının neden olduğu postürel zorlanmaların belirli kas-iskelet bölgelerinde yoğunlaştığını ve bu tekrarlayan yüklenmelerin, çalışanlarda kas-iskelet sistemi hastalıkları (KİSB) gelişimi için önemli bir risk faktörü oluşturduğunu açıkça göstermektedir.

3.3. Riskli İş Adımlarının Belirlenmesi

REBA analizi, Domuz Damı tahkimat sürecindeki bazı spesifik iş adımlarının yüksek ergonomik risk potansiyeli taşıdığını ortaya koymuştur. Bu kritik adımlar ve ilgili risk faktörleri aşağıda özetlenmiştir:

- Kütüğün Yerden Kaldırılması: Bu aşamada gözlemlenen belirgin gövde eğilmesi ve ağır yükün kaldırılması, en yüksek REBA skorlarına neden olarak ciddi bir ergonomik risk teşkil etmektedir.
- Kütüğün Yukarı Bastırılarak Tavana Yerleştirilmesi: Kütüğün omuz hizasının üzerinde zorlanarak yerleştirilmesi, uygulanan yüksek kuvvet ve eş zamanlı bilek bükülmeleriyle birleşerek kritik düzeyde ergonomik risk oluşturmaktadır.
- Kütüğün Sabitlenmesi: Bu adımda gerçekleştirilen tekrarlayıcı el bileği hareketleri ve güçlü kavrama gereksinimi, kas yorgunluğu ve potansiyel kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları açısından önemli bir risk faktörü olarak değerlendirilmiştir.

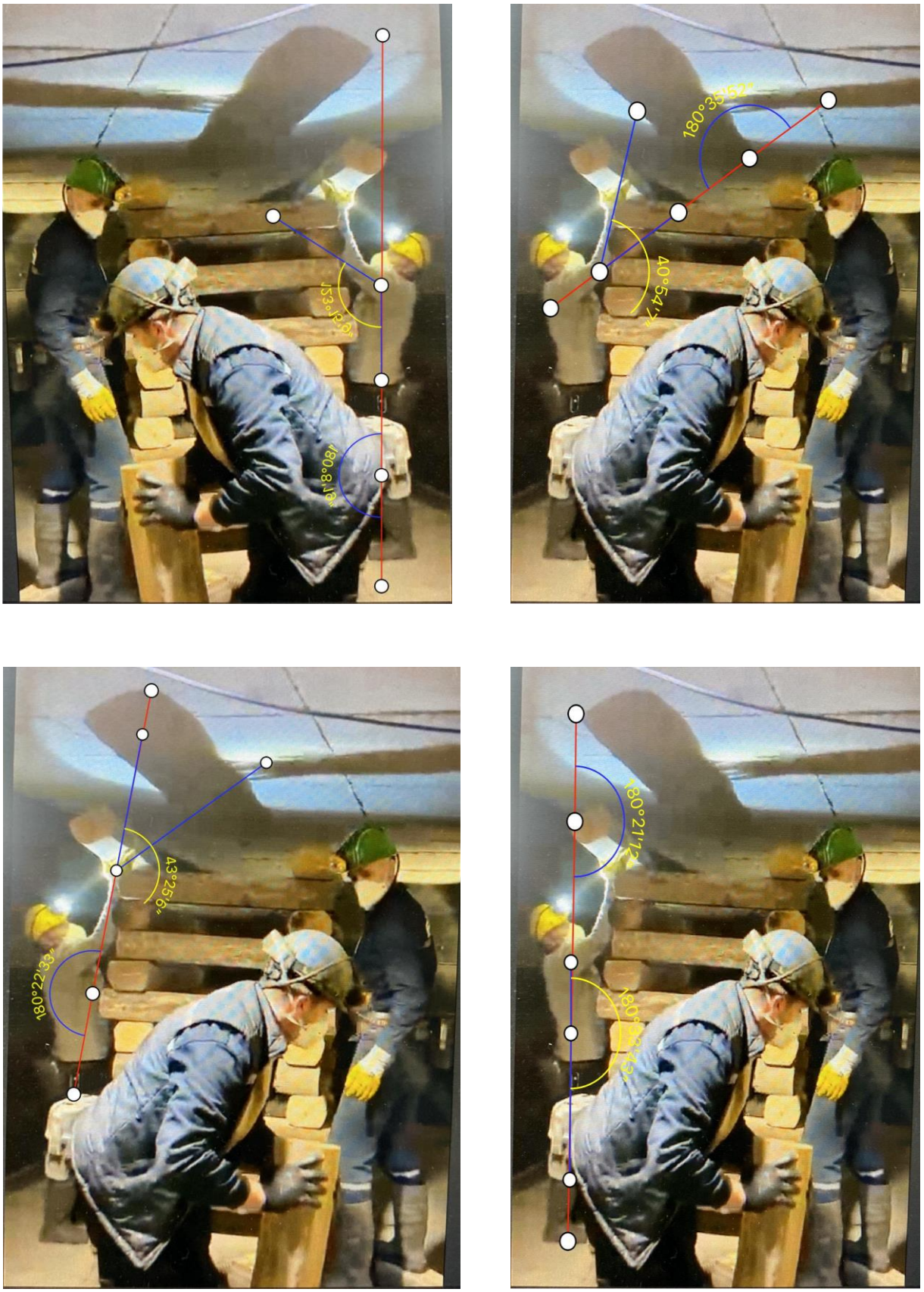
Bu bulgular, Domuz Damı uygulamasının belirli aşamalarında yoğunlaşan ergonomik risklerin azaltılmasına yönelik müdahale stratejilerinin geliştirilmesinin önemini vurgulamaktadır.

4. GÖRÜNTÜ VE VİDEO DESTEKLİ REBA ERGONOMİK RİSK ANALİZİ DEĞERLENDİRMESİ

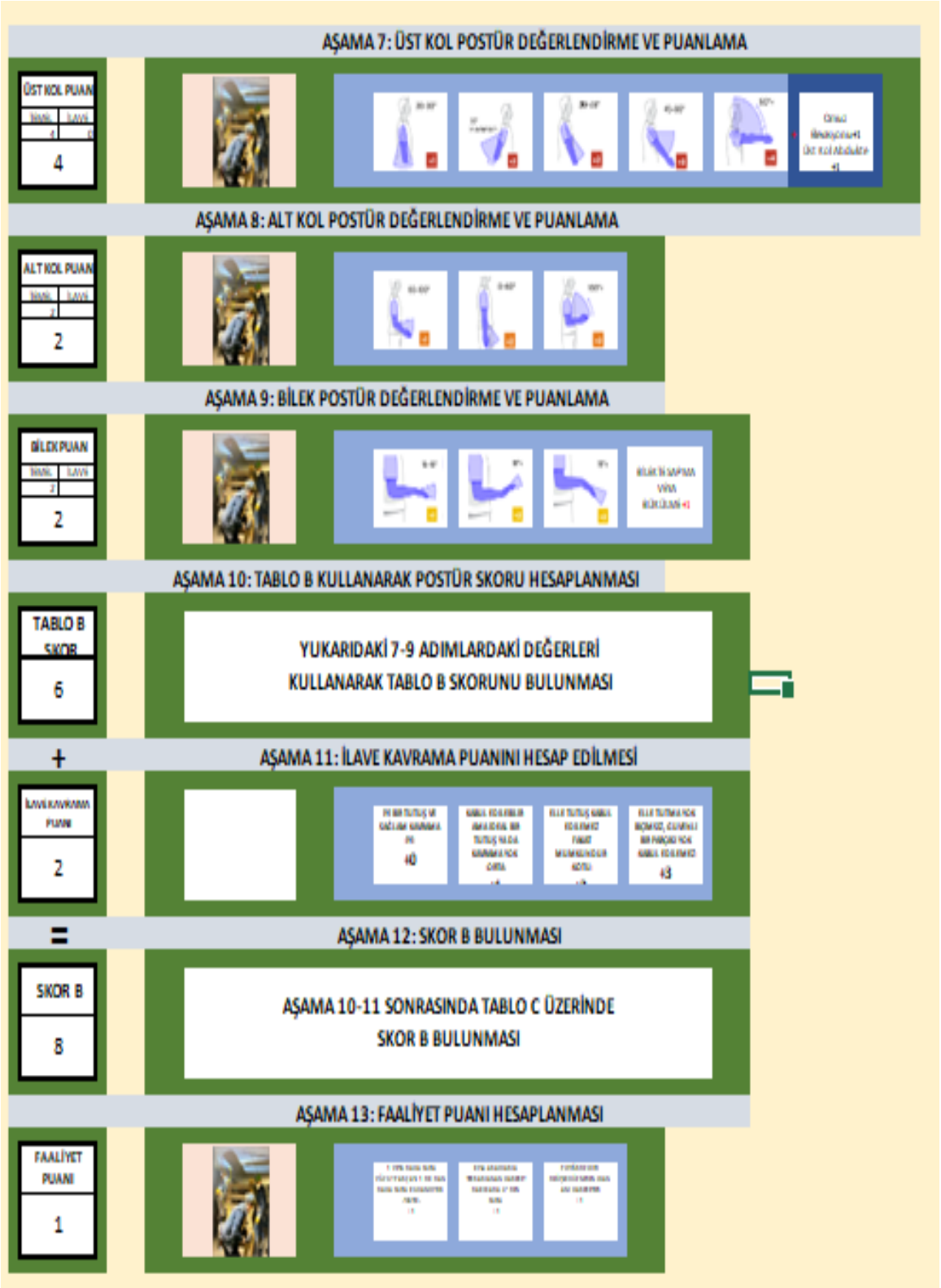
Sunulan görseller (Şekil 1), video kayıtlarından elde edilen kritik iş pozisyonlarını ve bu pozisyonlara ait gerçekleştirilen REBA analizinden elde

edilen ölçümleri detaylı olarak göstermektedir. Bu görselleri takiben sunulan REBA analiz tablosu (Çizelge 1), elde edilen risk skorlarını özetlemektedir.

Şekil 1. Domuzdamı çalışmasında çalışan duruşlarının analizi

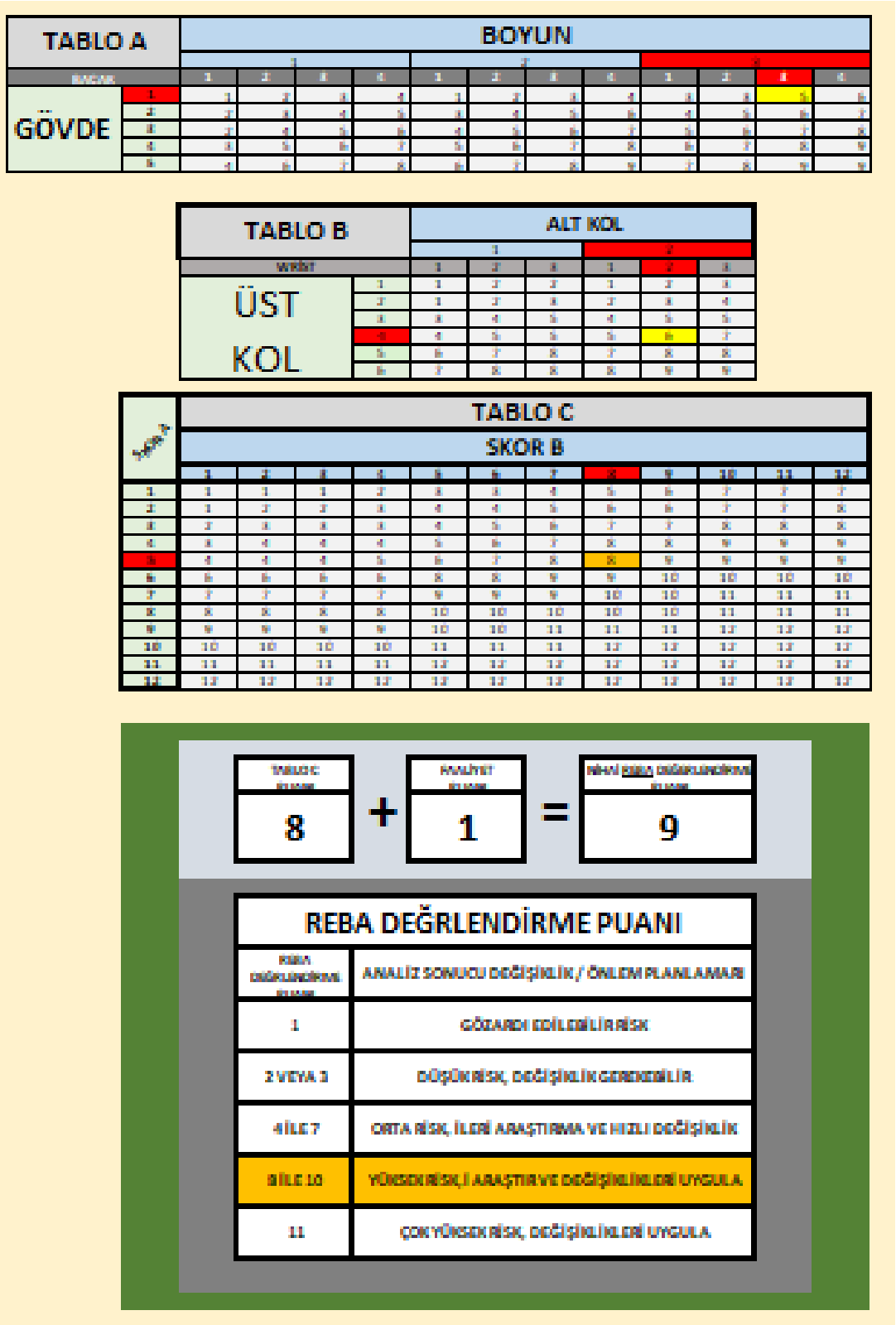


Şekil 1. Domuzdamı çalışmasında çalışan duruşlarının analizi (devamı)



Şekil 2. Üst kol, alt kol ve ilave kavrama puanlarının hesaplanması

Şekil 2'de üst kol, alt kol, bilek, postür skoru ve ilave kavrama puanlarının hesaplanması gösterilmiştir.



Şekil 3. Tüm vücudun REBA Hesaplamaları

Şekil 3'te ise boyun, gövde ve üst kol değerlendirmeleri hesaplanarak toplam REBA puanları gösterilmiştir.

5. BULGULARIN DEĞERLENDİRMESİ

Bu çalışmada, yeraltı kömür madenciliğinde yaygın olarak kullanılan Domuz Damı tahkimat yönteminin uygulama süreci, REBA (Rapid Entire Body Assessment) metodu aracılığıyla kapsamlı bir ergonomik analizden geçirilmiştir. Analiz sonuçları, bu geleneksel tahkimat yönteminin uygulanması sırasında çalışanların yüksek düzeyde kas-iskelet sistemi riskine maruz kaldığını açıkça ortaya koymaktadır. Elde edilen bu bulgular, literatürdeki benzer madencilik faaliyetlerine yönelik ergonomik değerlendirme çalışmalarıyla karşılaştırıldığında paralellik göstermekte ve bu sektördeki ergonomik risklerin yaygınlığını desteklemektedir. Özellikle geleneksel ve yoğun fiziksel efor gerektiren iş süreçlerinin, çalışan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini bir kez daha gözler önüne sermektedir.

5.1. Sonuçların Literatürle Karşılaştırılması

Literatürde, yeraltı madenciliğinde uygulanan tahkimat sistemlerinin, özellikle manuel uygulandığında, çalışanlar için önemli bir ergonomik risk faktörü olduğu ve kas-iskelet sistemi (KİS) rahatsızlıklarına yol açtığı yaygın olarak belirtilmektedir (Karakaya & Yıldız, 2020; Özdemir ve diğerleri, 2021). Bu çalışmada saptanan 9 REBA puanı ile tanımlanan "yüksek risk" seviyesi, benzer tahkimat yöntemlerinin değerlendirildiği çalışmalarda bildirilen 8-10 aralığındaki puanlarla tutarlılık göstermektedir. Özellikle bel, omuz ve diz bölgelerinde gözlemlenen yüksek düzeyde kas yüklenmesi, ağır ve tekrarlayıcı hareketlerin varlığı ile ilişkilendirilmekte ve literatürde sıkça rapor edilmektedir (Rahman & Ramasamy, 2018).

Yeraltı madenciliğinde çalışanlarda yaygın olarak görülen KİS rahatsızlıkları, sadece postüral zorlanmalarla sınırlı kalmayıp, aynı zamanda titreşim, ağır kaldırma, tekrarlayan hareketler ve yetersiz çalışma alanı gibi çeşitli

faktörlerden de kaynaklanmaktadır (Donoghue, 2004; McPhee, 2004). Bu durum, KİS rahatsızlıklarının önlenmesi için çok yönlü bir yaklaşım gerektirmektedir.

Literatürde, yeraltı madenciliğinde ergonomik riskleri azaltmaya yönelik çeşitli müdahale stratejileri önerilmektedir. Bunlar arasında, iş istasyonlarının ergonomik prensiplere göre tasarlanması, uygun ekipman ve araçların sağlanması, çalışanlara doğru kaldırma teknikleri ve postür eğitimi verilmesi, düzenli dinlenme araları ve vardiya düzenlemeleri yer almaktadır (NIOSH, 2006; SureHire, 2022). Ayrıca, iş süreçlerinin otomasyonu ve uzaktan kontrol sistemlerinin kullanımı da, çalışanların riskli ortamlara maruz kalmasını azaltarak KİS rahatsızlıklarının önlenmesine katkı sağlayabilir (Hetherington, 2025).

Bu bağlamda, bu çalışmanın bulguları, Domuz Damı tahkimat yönteminin uygulanmasında saptanan yüksek ergonomik risklerin azaltılması için, literatürde önerilen ergonomik müdahale stratejilerinin dikkate alınmasının önemini vurgulamaktadır. Gelecekteki çalışmalarda, bu müdahale stratejilerinin etkinliği ve uygulanabilirliği daha detaylı bir şekilde incelenmelidir.

5.2. Yüksek Ergonomik Risk Faktörleri

REBA analizinde tespit edilen yüksek ergonomik risk seviyesinin temelinde yatan faktörler şu şekilde özetlenebilir:

Yoğun Postüral Zorlanma: Domuz Damı uygulama sürecinde, çalışanların sıklıkla gövdelerini öne yada arkaya eğik, ellerini omuz hizasının üzerinde ve dengesiz vücut pozisyonlarında uzun süreli olarak sürdürmeleri gerekmektedir. Bu statik ve zorlayıcı duruşlar, özellikle bel ve omuz kasları üzerinde önemli ölçüde postürel yüklenmeye neden olmaktadır.

Ağır Yük Kaldırma ve Taşıma: Kütüklerin yerden kaldırılması, dar alanda manevra yapılarak taşınması ve tavana sabitlenmesi gibi iş adımları, yüksek düzeyde fiziksel kuvvet uygulamasını gerektirmektedir. Bu ağır yüklerle yapılan

tekrarlayıcı hareketler ve eş zamanlı denge kaybı riski, kas-iskelet sistemi üzerindeki yükü artırmaktadır.

Kısıtlı ve Ergonomik Olmayan Çalışma Alanı: Yeraltı madenlerinin doğal yapısı gereği, çalışma alanları genellikle dar, alçak tavanlı ve düzensiz zeminlidir. Bu sınırlı ve ergonomik açıdan uygun olmayan çalışma koşulları, çalışanların kontrollü ve ergonomik vücut hareketleri sergilemesini zorlaştırmakta, dolayısıyla zorlayıcı ve riskli postürlerin ortaya çıkmasına zemin hazırlamaktadır.

Bu faktörlerin etkileşimi, Domuz Damı uygulamasının çalışanlar için neden yüksek bir ergonomik risk taşıdığını açıkça göstermektedir. Bu durum, iş güvenliği ve çalışan sağlığı açısından acil müdahale ve iyileştirme çalışmalarının gerekliliğini ortaya koymaktadır.

5.3. Ergonomik Risk Azaltımına Yönelik Öneriler

Bu çalışmada elde edilen bulgular ışığında, Domuz Damı tahkimat uygulamasındaki yüksek ergonomik risk düzeyinin azaltılmasına yönelik çok boyutlu bir müdahale planı önerilmektedir. Bu plan, temel olarak üç ana başlık altında yapılandırılmıştır:

a) Mühendislik Kontrolleri:

Mekanik Destek Sistemlerinin Entegrasyonu: Ağır yük kaldırma ve taşıma faaliyetlerinin azaltılması amacıyla hidrolik krikolar, paletli taşıyıcılar veya raylı sistemler gibi mekanik destek ekipmanlarının kullanımı değerlendirilmelidir. Bu tür sistemler, manuel kuvvet uygulamasını minimize ederek postüral zorlanmaları önemli ölçüde azaltabilir.

Ayarlanabilir Çalışma Platformları: Farklı iş adımları ve bireysel çalışanların antropometrik ölçülerine uygun ayarlanabilir çalışma platformlarının kullanılması, daha ergonomik vücut pozisyonlarının benimsenmesine olanak tanıyarak gövde ve üst ekstremite üzerindeki yüklenmeleri hafifletebilir.

Çalışma Alanı Aydınlatmasının Optimizasyonu: Yeterli ve uygun aydınlatma seviyelerinin sağlanması, çalışanların görsel algısını artırarak hatalı ve zorlayıcı postürlerde çalışma riskini azaltabilir.

b) Eğitim ve Farkındalık Oluşturma:

Kapsamlı Ergonomi Eğitim Programları: Çalışanlara kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarının nedenleri, erken belirtileri, doğru vücut mekanikleri, güvenli yük kaldırma prensipleri ve düzenli mikro molaların önemi konularında teorik ve uygulamalı eğitimler verilmelidir.

Görsel Destekli Eğitim Materyalleri: Eğitim süreçlerinde görsel materyaller (infografikler, videolar, saha uygulaması örnekleri) etkin bir şekilde kullanılarak öğrenme süreçleri desteklenmeli ve bilginin kalıcılığı artırılmalıdır.

c) İş Rotasyonu ve Dinlenme Stratejileri:

Kas Grubu Temelli Rotasyon Sistemleri: Aynı kas gruplarını sürekli olarak aşırı yükleyen iş adımları arasında planlı ve sistematik görevlendirme değişiklikleri yapılarak tekrarlayıcı zorlanmaların önüne geçilebilir. Rotasyon planları, farklı kas gruplarının dengeli bir şekilde kullanılmasına olanak tanımalıdır.

Vardiya ve Dinlenme Optimizasyonu: Farklı vardiyalarda görev değişimi ve yeterli dinlenme sürelerinin sağlanması, kasların iyileşmesi için gerekli zamanı tanıyarak kronik zorlanma ve yorgunluk kaynaklı riskleri azaltabilir. Mikro molaların iş döngüsüne entegre edilmesi de kas yorgunluğunu önlemede etkili bir stratejidir.

Bu çok yönlü önleyici yaklaşımın benimsenmesi, Domuz Damı uygulamasındaki ergonomik risklerin önemli ölçüde azaltılmasına ve maden işçilerinin sağlığının korunmasına katkı sağlayacaktır.

Elde edilen veriler ışığında, risk düzeyinin azaltılmasına yönelik öneriler üç başlık altında toplanabilir:

a) Mühendislik Kontrolleri:

Mekanik destek sistemlerinin (örneğin: hidrolik krikolar, taşıma raylı sistemler) kullanımı, yük kaldırma ihtiyacını azaltabilir.

Ayarlanabilir çalışma platformları, postürün optimize edilmesini sağlayarak gövde ve kol zorlanmalarını düşürebilir.

Alan aydınlatmasının iyileştirilmesi, görsel algıyı artırarak hatalı postür riskini azaltabilir.

b) Eğitim ve Farkındalık:

Çalışanlara kas-iskelet sistemi rahatsızlıkları, doğru postür, yük kaldırma teknikleri ve mikro molalar hakkında düzenli eğitim verilmelidir.

Eğitim materyalleri görsel destekli olmalı ve saha uygulamalarıyla pekiştirilmelidir.

c) Rotasyon Sistemi:Aynı kas grubunu sürekli zorlayan iş adımları arasında dönüşümlü görev dağılımı yapılmalıdır.

Kas grubu yük dağılımına dayalı, planlı rotasyon sistemleri ile tekrarlayan zorlanmaların önüne geçilebilir.

Farklı vardiyalarda görev değişimi ile kas iyileşme süreleri uzatılarak kronik zorlanmalar azaltılabilir.

6. SONUÇ

Bu çalışma, Türkiye yeraltı madenciliğinde yaygın olarak kullanılan geleneksel tahkimat yöntemi olan Domuz Damı uygulamasının ergonomik risklerini REBA (Rapid Entire Body Assessment) yöntemiyle analiz ederek, mevcut uygulamanın çalışan sağlığı açısından önemli tehlikeler barındırdığını ve acil müdahale gerektirdiğini açıkça ortaya koymuştur. Video tabanlı analizler sonucunda elde edilen yüksek risk düzeyi (REBA skoru 9), özellikle bel, omuz ve diz gibi anahtar kas gruplarında ciddi postürel yüklenmelerin varlığını teyit etmektedir. Bu bulgular, literatürdeki benzer madencilik faaliyetlerine yönelik ergonomik değerlendirme çalışmalarıyla tutarlılık göstermekte ve geleneksel,

manuel yoğunluklu iş süreçlerinin çalışan sağlığı üzerindeki olumsuz etkilerini bir kez daha gözler önüne sermektedir.

Elde edilen sonuçlar ışığında, Domuz Damı uygulamasındaki ergonomik risklerin azaltılması ve iş güvenliğinin artırılması amacıyla çok yönlü bir müdahale stratejisi önerilmektedir. Mühendislik temelli çözümlerle iş istasyonlarının ve kullanılan araçların ergonomik prensiplere uygun hale getirilmesi, ağır yük kaldırma ihtiyacını minimize edecek mekanik destek sistemlerinin entegrasyonu ve ayarlanabilir çalışma platformlarının kullanılması, fiziksel zorlanmaları önemli ölçüde azaltabilir. Ayrıca, kas-iskelet sistemine yönelik yük dağılımını dengeleyici planlı rotasyon sistemlerinin kurulması ve çalışanlara yönelik doğru postür, yük kaldırma teknikleri ve mikro molalar konusunda düzenli eğitim ve farkındalık çalışmalarının yaygınlaştırılması, iş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesinde kritik rol oynayacaktır.

REBA yöntemi, saha koşullarında uygulanabilirliği yüksek, sistematik ve hızlı sonuçlar sunan değerli bir ergonomik değerlendirme aracı olarak öne çıkmaktadır. Görsel ve video analizleriyle desteklendiğinde, farklı iş görevlerindeki kas grubu yüklenmeleri karşılaştırılabilir, rotasyon planlamaları veriye dayalı olarak yapılabilir ve iş tasarımlarında risk odaklı yeniden yapılandırma süreçleri etkin bir şekilde yürütülebilir. Bu yönleriyle REBA hem küçük hem de büyük ölçekli maden işletmelerinde pratik bir risk analiz aracı olarak yaygınlaştırılması önerilmektedir.

Bu bağlamda, politika yapıcılara, iş güvenliği uzmanlarına ve yöneticilere önemli görevler düşmektedir. Politika yapıcılar, yeraltı madenciliğinde kullanılan geleneksel yöntemlerin ergonomik değerlendirmelerle güncellenmesi için sektörel rehberler ve yasal çerçeveler oluşturmalı ve REBA gibi objektif yöntemlerin mevzuatla desteklenmesi yoluyla önleyici sağlık politikalarının yaygınlaşmasını sağlamalıdır. İş güvenliği uzmanları, saha gözlemlerine dayanarak REBA, OWAS gibi yöntemleri düzenli olarak kullanmalı, her iş

istasyonu için ergonomik risk haritaları oluşturmalı ve riskli postürlerde çalışanlara yönelik özel eğitim ve izleme programları tasarlamalıdır. Yöneticiler ise, üretim sürekliliği ile çalışan sağlığı arasında sürdürülebilir bir denge kurmak amacıyla mühendislik yatırımları ve organizasyonel önlemleri entegre etmeli ve verimlilik analizlerini yalnızca ekonomik değil, aynı zamanda ergonomik verilerle de desteklemelidir.

Sonuç olarak, yeraltı madenciliğinde ergonomik prensiplerin benimsenmesi ve yapılandırılmış risk analizlerinin yaygınlaştırılması, sürdürülebilir bir iş ortamı, sağlıklı çalışanlar ve artan operasyonel verimlilik için hayati öneme sahiptir. Bu çalışma, Domuz Damı uygulamasında tespit edilen yüksek ergonomik risklerin azaltılması için atılacak adımlara bilimsel bir temel sunmaktadır.

KAYNAKLAR

Ağır, A., & Şimşek, K. (2019). Maden işçiliğinde kas-iskelet sistemi hastalıkları ve ergonomik riskler. İş Sağlığı ve Güvenliği Dergisi, 35(2), 45-52.

Atlas Copco. (2024). Never stop mining: Ergonomics and safety in the mining industry. https://www.atlascopco.com/en-ng/itba/expert-hub/articles/ergonomics-and-safety-in-the-mining-industry

Buckle, P., & Devereux, J. (2002). Work-related neck and upper limb musculoskeletal disorders (Vol. 1). HSE Books.

Chowdhury, A., & Ghosh, T. (2022). Efficacy Of Ergonomic And Exercise Interventions In Reducing Musculoskeletal Disorders Among Sand Mine Workers In Odisha, India. Journal of Rehabilitation Technology and Device Development.

Donoghue, A. M. (2004). Work-related musculoskeletal disorders in mining. Occupational Medicine, 54(5), 291-299.

Hignett, S., & McAtamney, L. (2000). Rapid Entire Body Assessment (REBA). Applied Ergonomics, 31(2), 201–205. https://doi.org/10.1016/S0003-6870(99)00039-3

HSE Network. (2024). Comprehensive Guide to Mining Health and Safety. https://www.hse-network.com/comprehensive-guide-to-mining-health-and-safety/

ICMM (International Council on Mining and Metals). (n.d.). Health and Safety. https://www.icmm.com/en-gb/our-work/health-and-safety

ILO (International Labour Organization). (2023). Ergonomic Checkpoints in Mining Workplaces: Tools for Occupational Health. Geneva: ILO Publications.

Karakaya, L. A., & Yıldız, S. (2020). Yer altı maden işlerinde çalışanlarda kas iskelet sistemi rahatsızlıkları ve risk faktörleri. Türk Fizyoterapi ve Rehabilitasyon Dergisi, 31(3), 212-221.

McPhee, B. (2004). Occupational vibration exposure and musculoskeletal disorders in mining. Journal of Sound and Vibration, 277(4-5), 1055-1063.

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). (2006). Ergonomic Guidelines for Manual Material Handling. Cincinnati, OH: NIOSH.

NIOSH (National Institute for Occupational Safety and Health). (2019). Mining Topic - Ergonomics and MSD Prevention. https://archive.cdc.gov/www_cdc_gov/niosh/mining/topics/ErgonomicsandMSDPrevention.html

Özdemir, Y., & Demirtaş, M. (2021). Madencilik sektöründe postür analiz yöntemlerinin karşılaştırılması. Endüstri Mühendisliği Dergisi, 32(1), 79-92.

Rahman, M. A., & Ramasamy, R. (2018). Ergonomic risk assessment in underground coal mining. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, 24(4), 582-591.

SureHire. (2022). Ergonomics in the Workplace: A Guide for Employers. https://www.surehire.com/blog/ergonomics-in-the-workplace/

VelocityEHS. (2020). How to Use the Rapid Entire Body Assessment. https://www.ehs.com/2020/05/how-to-use-the-rapid-entire-body-assessment

Waters, T. R. (2007). When is it safe to manually lift a patient? American Journal of Nursing, 107(8), 53–58.

Yıldırım, B., & Göksoy, A. (2017). Maden sektöründe ergonomik risk değerlendirme uygulamaları. Türkiye Mühendislik Dergisi, 91(3), 65–73.

YANGINLARIN TEHLİKELİ MADDE GÜVENLİK DANIŞMANI BAKIŞ AÇISINDAN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF FIRES FROM THE PERSPECTIVE OF DANGEROUS GOODS SAFETY ADVISOR

Ahmet Cayık
Atlas Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanlığı Kuruluşu, İzmir

ÖZET: Genel literatürde yangınlar, A tipi, B tipi, C tipi yangınlar şeklinde Katı madde yangınları, sıvı madde yangınları ve gaz yangınları gibi tanımlar altında işlenmektedir. Uzmanlar bu bakış açısıyla değerlendirmiştir ancak genel prensip olarak yangınla mücadele, öncelikle çıkmadan tedbir almak veya en azından başlangıç aşamasında söndürebilmekten geçer. Bu da özellikle tehlikeli madde yangınları için, sahada bulunan Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanlarının da (TMGD) önereceği önlemlere dikkat edilmesi sayesinde yangın başlamadan tedbir alınması sonucu doğurarak yangın güvenliğine katkı sağlanabilir. Bunun için Birleşmiş Milletler Model Yönetmeliklerine göre 9 sınıf altında gruplandırılan tehlikeli maddelerin yangın açısından incelenerek alınması gereken önleyici tedbirlerin önemini arttırmaktadır. Ülkemiz Tehlikeli madde taşımacılığı anlamında ADR (Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Anlaşma) anlaşmasına taraf olduktan sonra karayollarından yapılacak taşıma faaliyetlerinde yer alması gereken Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanlarına dair kurallar getirmiştir. Bu kurallar tehlikeli maddelerin işletme için alınması aşamasında, boşaltılması aşamasında, paketleme, yükleme, doldurma ve gönderme aşamasında 54 ülkenin mutabakatıyla alınmış anlaşmanın eklerinde bulunan kuralların aynı şekilde uygulanmasını içermektedir. Bu bildiride 9 ayrı sınıf içerisinde değerlendirilen tehlikeli maddelerin yangın açısından bir değerlendirmesi ve özellikle yangın öncesinde alınması gereken tedbirleri açıklamak amaçlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Tehlikeli madde, bleve, patlama

ABSTRACT: *In the general literature, fires are treated under definitions such as solid material fires, liquid material fires and gas fires as Type A, Type B, Type C fires. Naturally, this is the decision of the experts, but as a general principle, the fight against fire is primarily to take precautions before it starts or at least to extinguish it at the initial stage. This can contribute to fire safety by taking precautions before the fire starts, especially by paying attention to the measures recommended by DGSAs in the field for dangerous goods fires. For this, it increases the importance of preventive measures to be taken by examining the dangerous goods grouped under 9 classes according to the United Nations Model*

Regulations in terms of fire. After our country became a party to the ADR agreement in terms of dangerous goods transport, it has introduced rules for Dangerous Goods Safety Advisers who should be involved in transport activities to be carried out by road. These rules include the same application of the rules in the annexes of the agreement, which was taken with the agreement of 54 countries at the stage of taking dangerous goods for operation, at the stage of unloading, packaging, loading, filling and sending. The purpose of this declaration is to explain an evaluation of dangerous goods evaluated in 9 different classes in terms of fire and especially the precautions to be taken before fire.

Keywords: *Dangerous Goods, Bleve, Explotion*

1. TEHLİKELİ MADDELER

1.1. Tehlikeli Madde Sınıfları

Birleşmiş Milletler Model Yönetmelikleri dünya çapında tehlikeli maddeleri sınıflandırmıştır. Bu sınıflandırma, Küresel Uyum Sistemiyle (GHS) sistemiyle yapılan sınıflandırmayla benzerlik gösterse de Birleşmiş Milletler (BM), Testler ve Kriterler El Kitabı çerçevesinde sınıflandırma yapmaktadır. Her iki yöntem de aslında tehlikeli maddeyi aynı sonuç altında değerlendirmektedir. Tehlikeli maddeler 9 sınıfa ayrılmıştır. Sınıflar aşağıda açıklanmaktadır.

Sınıf 1 Patlayıcı maddeler ve nesneler

Sınıf 2 Gazlar

Sınıf 3 Alevlenebilir sıvılar

Sınıf 4.1 Alevlenebilir katılar, kendiliğinden tepkimeye giren maddeler, polimerleştirici maddeler ve duyarlılığı azaltılmış katı patlayıcılar

Sınıf 4.2 Kendiliğinden yanmaya yatkın maddeler

Sınıf 4.3 Su ile temas ettiğinde alevlenebilir gazlar açığa çıkartan maddeler

Sınıf 5.1 Yükseltgen (Oksitleyici) maddeler

Sınıf 5.2 Organik peroksitler

Sınıf 6.1 Zehirli maddeler

Sınıf 6.2 Bulaşıcı maddeler

Sınıf 7 Radyoaktif malzemeler

Sınıf 8 Aşındırıcı maddeler

Sınıf 9 Muhtelif tehlikeli maddeler ve nesneler

1.1.1. *Tehlikeli Madde Sınıflarının Riskleri ve Temel Önlemler*

1.1.1.1. Patlayıcı Maddeler

Riskler: Patlama riski, yangın riski, şok ve sürtünme ile tetiklenme riski.

Önlemler: Patlayıcı maddeler, uygun ambalajlarda taşınmalı ve depolanmalıdır. Patlayıcı maddelerin bulunduğu alanlarda sigara içilmemeli ve açık alev kullanılmamalıdır.

1.1.1.2. Gazlar

Riskler: Basınç altında taşıma, yangın, zehirleme veya boğma tehlikesi

Önlemler: Gazlar, uygun basınçlı kaplarda taşınmalı ve depolanmalıdır. Gazların bulunduğu alanlarda sigara içilmemeli ve açık alev kullanılmamalıdır. Kapalı ortamlarda havalandırma çok önemlidir.

1.1.1.3. Alevlenebilir Sıvılar

Riskler: Yangın ve patlama riski, buharların solunması sonucu zehirlenme riski.

Önlemler: Yanıcı sıvılar, serin ve iyi havalandırılan alanlarda depolanmalıdır. Yangın söndürme ekipmanları hazır bulundurulmalıdır.

1.1.1.4. Alevlenebilir Katılar

Riskler: Yangın riski, sürtünme veya darbe ile tutuşma riski.

Önlemler: Yanıcı katılar, nemden uzak tutulmalı ve uygun ambalajlarda depolanmalıdır.

1.1.1.5. Oksitleyici (Yakıcı) Maddeler ve Organik Peroksitler

Riskler: Yangın ve patlama riski, diğer maddelerle reaksiyona girme riski.

Önlemler: Oksitleyici maddeler, yanıcı maddelerden ayrı depolanmalıdır. Uygun koruyucu ekipman kullanılmalıdır.

1.1.1.6. Zehirli ve Bulaşıcı Maddeler

Riskler: Zehirlenme riski, bulaşıcı hastalık riski.

Önlemler: Zehirli ve bulaşıcı maddeler, sızdırmaz kaplarda taşınmalı ve depolanmalıdır. Koruyucu giysiler ve eldivenler kullanılmalıdır.

1.1.1.7. Radyoaktif Maddeler

Riskler: Radyasyon riski, çevresel kirlenme riski.

Önlemler: Radyoaktif maddeler, kurşun kaplarda taşınmalı ve depolanmalıdır. Radyasyon ölçüm cihazları kullanılmalıdır.

1.1.1.8. Aşındırıcı Maddeler

Riskler: Cilt ve gözlerde yanma riski, metal ve diğer malzemelerde aşındırma riski.

Önlemler: Aşındırıcı maddeler, dayanıklı kaplarda taşınmalı ve depolanmalıdır. Koruyucu giysiler, gözlükler ve eldivenler kullanılmalıdır.

1.1.1.9. Muhtelif Tehlikeli Maddeler

Riskler: Çeşitli fiziksel ve kimyasal riskler.

Önlemler: Bu maddeler, özelliklerine göre uygun ambalajlarda taşınmalı ve depolanmalıdır. Güvenlik talimatlarına uyulmalıdır. Bu önlemler, tehlikeli maddelerin güvenli bir şekilde taşınması ve depolanması için hayati öneme sahiptir. Her zaman güncel düzenlemelere ve güvenlik protokollerine uyulması gerekmektedir.

1.1.2. *Tehlikeli Madde Sınıflarına göre yangın potansiyelleri*

1.1.2.1. Sınıf 1 Patlayıcı Maddeler ve Nesnelerin Yangın Potansiyeli

Patlayıcı ve piroteknik maddelerin hassas olduğu etki, darbe, çarpma, sürtünme ve ısıdır. Bu etkilere maruz kalmaları durumunda patlama gerçekleşebilir. Patlama esnasında kaçınılmaz şekilde yangın başlayacaktır. Depolama alanında patlayıcıların darbe, çarpma ve sürtünme ile ısıdan korunması çok önemlidir (Uzel ve Durdağ, 2014; Uzundağ, 2020). Taşıma esnasında patlamaya neden olabilecek etkilere çok açık olan patlayıcı maddeler için Birleşmiş Milletler esaslı ADR kurallarına uygun taşıma üniteleri seçilmeli, eğitim almış yetkili sürücülerle taşıma yapılmalıdır. Taşınan veya depolanan patlayıcı maddelerle ilgili bir yangın durumunda hiçbir müdahalede bulunulmaz ve itfaiye veya AFAD birimlerine haber verilerek çevre ve tesis güvenliği açısından insanlar uzaklaştırılır. İnsanların uzaklaştırılması konusunda genel eğilim 5 ton ve altındaki patlayıcı madde yangınları için en az 500 metre, 5 ton üzerindeki yangınlar için 100 metre uzaklaştırmaktır. Tabii ki uzaklaştırılan insanların açıkta değil, bir engel arkasında bulunmaları önemli bir korunma faktörüdür. Potansiyel yangın henüz patlayıcı maddelere sirayet etmemişse genel kural olarak tesis çalışanları portatif yangın söndürme cihazlarıyla müdahale edebilir. Taşıma esnasında araç motorunda veya lastiklerde buna benzer bir yangın çıkmışsa aynı şekilde sürücü yangına müdahale edebilir. Bunun sınırı daha önce de değindiğimiz gibi yangının patlayıcı maddeye erişme ihtimaline kadardır. İhtimal meydana geldiği durumda artık söndürme faaliyeti son bulmalıdır. İtfaiyeciler için de yapılabilecek tek şey, soğutma çalışması yaparak yangının yayılmasını önlemek ve kimyasal reaksiyonu kesmeye çalışarak patlamaların sona ermesini beklemektir ne yazık ki.

1.1.2.2. Sınıf 2 Gazların Yangın Potansiyeli

Sınıf 2 gazlar üç başlık altında ele alınmaktadır. Birincisi Alevlenebilir gazlar, ikincisi zehirli gazlar, üçüncüsü ise diğer gazlardır. Bunlar genellikle boğucu ve aşındırıcı gaz tanımına uyarlar. Bu aşamada konumuz tabii ki alevlenebilir gazlardır. Alevlenebilir gazlar, yanma üçgeni prensibine göre ateş kaynağı ve oksijen yönünden uygun ortam bulduğunda yanarlar. Bu maksatla ateş ve ısı kaynaklarından uzak tutulmaları ve ortamda birikmelerinin önüne geçmek gerekmektedir. Bu da ortamda yeterli havalandırma sayesinde mümkün olabilecektir. İtfaiyecilerin deyimiyle yanan gaz en güvenli gazdır aslında. Çünkü gazın kaynağı ve ulaştığı mesafe gözle görülebilir. Burada gazların alt ve üst patlama limitleri ile bu limitlerde ortamdaki oksijen miktarı önem kazanmaktadır.

Gazların potansiyel yangın risklerini değerlendirirken havadan ağır veya hafif oluşları önem kazanmaktadır. Havadan hafif gazların tam kapalı olmayan ortamlarda birikmesi zor olduğu için aşırı riskli sayılmayabilir ancak havadan ağır gazların zeminde ve daha derin yerlerde (kanal, bodrum kat gibi) birikmesi sonucunda parlaması ve alevlenmesi çok büyük ihtimaldir.

Gazların rahat ve ekonomik transfer edilebilmesi için hacmen daraltılması maksadıyla sıvı hale getirmek gerekmektedir. Ortalama 700 kata kadar hacmi azaltılabilen bir gaz için kaçak durumunda hacminin 700 kat artacağını düşünmek, hem depolama, hem de taşıma operasyonlarında dikkate alınması gereken bir risktir.

Gazların taşınması amacıyla kullanılan basınçlı kapların risk potansiyeli en yüksek kısmı valfleridir. Düşme, çarpma, devrilme gibi durumlarda valflerin kırılması veya yerinden çıkması halinde basınç altında bulunan gaz hızla dışarı tahliye olurken basınçlı kabın bir roket gibi fırlamasına neden olur. Bu durumda insanlar ve çevreye gelebilecek fiziksel hasarlardan başka, tutuşma olduğunda arkasından alev yayan bir roket resmi tamamen gerçekleşir.

BLEVE patlamaları, basınçlı kapların ısınması sonucunda gerçekleşmesi muhtemel en riskli patlamadır. Basınçlı kaplar ısındıkça içerisinde bulunan sıvı haldeki gaz kaynama meyline girer ve buhar artışı oluşur. Artan buhar kabın hacimsel kapasitesini zorlamaya başlar ve en zayıf yerinden basınçlı kabı patlatır. Patlama kabın hacimsel kapasitesinin çok üstünde bir yanıcı ortam oluşturur. Bu patlama en istemediğimiz patlama ve yangın modelidir.

1.1.2.3. Sınıf 3 Alevlenebilir Sıvıların Yangın Potansiyeli

Alevlenebilir sıvılar, en bilinen şekliyle benzin, mazot gibi maddeleri akla getirmektedir. Bu sınıfta yer alan maddelerin parlama noktaları 60^{o}C ve altındadırlar. Bu maddelerin en karakteristik özellikleri yanma üçgeninin tamamlanması neticesinde kolayca tutuşmalarıdır. Yani, sınıf 3 maddeleri, oksijen ve ateş kaynağı üçlüsünün bir araya gelmesi yangını kolayca başlatabilir. Şunu akılda tutmak gerekir ki hiçbir sıvının kendisi yanmaz. Yanan, sıvının buharlarıdır. Alevlenebilir sıvıların buharlarının ateş kaynağıyla karşılaştıklarında alevlendiği en düşük sıcaklığa parlama noktası denmektedir. Buradan şu sonucu çıkartabiliriz; parlama noktası düşük olan maddeler yanma riskine karşı çok daha hassastır, parlama noktası daha yüksek maddeler yangın için daha az elverişlidir. Yanıcı sıvıların buhar çıkarma kapasiteleri için de hacimlerinin yaklaşık 200 ila 400 katı olabileceğini söylersek abartmış olmayız. Bu durum ise yanıcı sıvıların yanmaya başladıklarında yangın potansiyelinin, yanmaya destek veren oksijen miktarını da eklediğimizde hacimlerinin ortalama 250 katı civarında olabileceğinin akılda tutulması gerektiğini bize anlatmaktadır.

Alevlenebilir sıvılarla ilgili en riskli yanma pozisyonu BLEVE olarak adlandırılan *Kaynayan Sıvı, Genleşen Buhar Patlamasıdır*. Isıya maruz kalan alevlenebilir sıvı kapları içerikleri ısındıkça buharlaşma oranı artar ve hacmen genleşmeye başlar. Emniyet valfi kapasitesinin yetersiz kaldığı durumlarda kap en zayıf yerinden patlar ve ortaya maalesef buhar halinde yanıcı sıvı saçılır.

Buharlar ortamda bulunan oksijen yeterli geldiğinde çok büyük bir patlamaya neden olur. Patlama, doğal olarak kabın cidarını şarapnel parçaları gibi etrafa dağıtır.

Alevlenebilir sıvıların fiziksel anatomilerini incelediğimizde, alevin kök noktasında yanmak için buharlaşmayı bekleyen ancak yanmayan sıvı görülebilir. Alevin orta kısmında tam yanma denilemeyecek ancak verimsiz de olsa oksijen yönünden nispeten daha zayıf bir yanma, en uç kısmında ise oksijenden yana zengin bir tam yanma görülebilir. Alevin en ucundaki yanma daha mavi bir renk sergiler. Bunun tam yanma olduğu ve oksijen miktarının yeterli olduğu anlaşılabilir. Bu bilginin yangın söndürme aşmasında işe yarayacağı şüphesizdir.

Alevlenebilir sıvıların yangınla ilişkisinde önemli bir husus ta suya karşı sergiledikleri tavırdır. Sudan daha hafif olan sıvılar, suyla karışabilen sıvılar ve sudan daha ağır sıvılar yangının suyla söndürülüp söndürülemeyeceği hakkında yol göstericidir. Genellikle yangınla mücadele için su en kolay temin edilen ve en ekonomik söndürme maddesidir. İtfaiyeciler ilk tahlilde yangını suyla söndürebileceklerinden emin olmak isterler. Sudan hafif alevlenebilir sıvılar, suyun üzerinde kalacağından su verdikçe yanma alanı genişleyeceğinden söndürülemeyebilir. Suyla karışabilen sınıf 3 maddelerinin söndürülmesi için kullanılan su, alevlenebilir sıvının yoğunluğunu azaltabileceğinden söndürme gerçekleşir. Sudan ağır sınıf 3 maddeleri için su doğal olarak en ideal söndürme maddesidir.

1.1.2.4. Sınıf 4 Alevlenebilir Katılar, Kendiliğinden Tepkimeye Giren Maddeler, Polimerleştirici Maddeler Ve Duyarlılığı Azaltılmış Katı Patlayıcılar, Kendi Kendine Yanan Maddeler ve Suyla Reaksiyona Girdiğinde Alevlenebilir Gazlar Çıkartan Maddelerin Yangın Potansiyeli

Sınıf 4.1 maddeleri alevlenebilirlik potansiyeli olan birden fazla alt gruptan oluşur. Sınıfın temel maddesi alevlenebilir katılardır. Alevlenebilir katılar

literatürde A tipi yangın olarak tanımlanan yangının tanımını karşılar. Ateş kaynağıyla karşılaştığında yanan katı maddelerdir. Bu sınıfta sürprizler bulunmaktadır. Örneğin kendi kendine reaksiyona giren maddeler, üretim aşamasında sıcaklık ile stabilize edilmişlerdir. Belirli bir sıcaklığı aşmamaları gerekmektedir. Tespit edilen sıcaklığın aşılması durumunda stabilizasyon yok olur ve kendi kendine reaksiyon başlayabilir. Reaksiyon egzotermik olabileceği gibi patlamayla bile sonuçlanabilir. Bu nedenden dolayı kendiliğinden tepkimeye meyilli maddeler miktar kısıtlaması çerçevesinde ambalajlanır ve bir taşıma ünitesinde 20 tondan fazla taşıma yapılamaz.

Benzer şekilde sınıf 4.1 maddeleri arasında polimerleşebilen maddeler bulunmaktadır. Bunlar normal taşıma ve depolama koşullarında monomer yapıdan polimer yapıya geçme eğilimindedirler. Genellikle sıcaklıkla stabilize edilmiş olduklarından belirli ısı değerlerini (SADT Kendiliğinden Hızlanan Dekompozisyon Sıcaklığı değeri) aşmamaları gerekmektedir.

Sınıfa dahil olan dördüncü grup maddemiz ise duyarlılığı azaltılmış katı patlayıcılardır. Patlayıcı madde bahsi sınıf 1 içerisinde değerlendirilebilir.

Sınıf 4.2 maddeleri kendi kendine yanan maddeleri kapsar. Piroforik olarak da adlandırılabilen maddeler oksijenle temas halinde yanmaya başlar ve alev kaynağına ihtiyaç duymazlar. Fosfor örneğinde olduğu gibi dökülme veya sızıntı durumunda derhal yangın çıkartabilirler. Yanma potansiyeli en fazla olan madde olarak düşünülebilir.

Aynı sınıfta tanımlanan kendi kendine ısınmaya yatkın maddelerden de söz etmeden geçmemek gerekir. Yağlı bez atıkları örneğinde olduğu gibi yağlarla kontamine olmuş bez ve kumaş benzeri atıklar, geçici depolama alanlarında sıcak altında uzunca bir süre bekletildiğinde içten içe bir ısı artışı olur ve parlayarak yangına neden olabilir. Bu tip atıklar için daha fazla dikkatli olmalı ve mümkünse hava geçirebilen çuval benzeri ambalajlar tercih edilmelidir. Isıl izolasyon sağlayacak ambalajlar tercih edilmemelidir.

Sınıf 4.3 maddeleri, suyla reaksiyona girdikleri takdirde alevlenebilir gazlar çıkarmaktadırlar. Karpit örneğinde olduğu gibi, suyla reaksiyona girdiğinde asetilen gazı ortaya çıkar ve bu gaz oldukça yanıcıdır. Normal olarak düşündüğümüzde bu maddelerin yangınlarında söndürme maddesi olarak su kullanılmamalıdır.

1.1.2.5. Sınıf 5 Yükseltgen Maddeler ve Organik Peroksitlerin Yangın Potansiyeli

Yükseltgen demek, bünyesinde barındırdığı oldukça fazla oksijeni temas ettiği şeylere aktararak bunların kolaylıkla tutuşmasına destek sağlayan maddeler demektir. Özellikle alevlenebilir sıvı ve katıların kolayca yanmasını sağladığından en az onlar kadar tehlikeli kapsamdadır. Yükseltgen maddelerin döküntü veya sızıntıları etrafında bulunan kuru ot, kağıt parçaları ve tozların kolayca yanmasına neden olabilirler. Bu maddelerin altına koyulan paletlerinde bile ahşaba tahammül edilemez. Plastik veya çelik paletler tercih edilmelidir. Sızıntı durumunda ahşap palet kaynaklı yangınlar yaşanmıştır. Yangını körükleyici madde tanımı sanırım sınıf 5.1 için daha iyi bir tanım olabilir.

Sınıf 5.2 maddeleri, peroksitlerin organik temelli olanlarıdır. Genellikle ağartıcı olarak üretim sektöründe oldukça fazla yer almaktadır. Organik peroksitler hem alevlenebilir, hem de yükseltgen karakter sergilerler yani hem yanıcı hem de yangını körükleyicilerdir. Bunlar da kendi kendine tepkimeye giren sınıf 4.1 maddeleri gibi sıcaklıkla stabilize edildikleri için reaksiyona girdiklerinde egzotermik bozunma, aşındırma ve bazen patlamaya neden olabilirler. Bu maddeler için önemli bir uyarı daha yapmakta fayda bulunmaktadır. Göze temas halinde kısa süre içerisinde korneaya zarar vererek körlüğe neden olabilirler. Organik peroksit kullanılan yerlerde göz yıkama sıvısı bulundurmayı ihmal etmemekte büyük fayda bulunmaktadır.

1.1.2.6. Sınıf 6 Zehirli ve Bulaşıcı Maddelerin Yangın Potansiyeli

Sadece zehirli bir maddeden yangın riski beklemeyiz ancak birden fazla tehlike barındıran kimyasallar arasında hem zehirli, hem de alevlenebilirlik özelliği taşıyanlar bulunmaktadır. Bu nedenle yangın bakış açısıyla yaklaştığımızda herhangi bir ürünün yanıcılık dahil birden fazla tehlike barındırabileceğini hesaba katmak gerekir. Bunu da tehlikeli maddelerin ambalajlarındaki ADR etiket ve işaretleri sayesinde tespit edebiliriz. Zehirli ve alevlenebilir bir sıvının yanmaya başlaması durumunda ortama zehirli dumanların da çıkacağı hesap edilmeli ve dalgıç tipi oksijen maskeleri kullanılmaya hazır halde tutulmalıdır.

Bulaşıcı maddeler yangın açısından bizim için en masum maddelerdir. Hiçbir şekilde yanma olayı beklemeyiz ancak taşıma aracı veya depolama esnasında yakınında yangın çıkması durumunda derhal söndürme faaliyetine odaklanıp enfeksiyon riskinden kurtulmak yararlı olacaktır.

1.1.2.7. Sınıf 7 Radyoaktif Maddelerin Yangın Potansiyeli

Hayatımızın hemen hemen her alanında radyoaktif maddelerle iç içeyiz. Sağlıktan gıdaya güvenlik araçlarından enerji üretimine kadar çok yerde kullanmaktayız. Radyoaktif maddelerin herhangi bir sızıntısının kitlesel zararlara neden olma potansiyeli vardır. Ayrıca ısı, radyoaktif yayılımı tetikleyebilir. Özel ambalajlar içerisinde kurşun plakalarla kaplı olarak depolanan veya kullanıma sunulan radyoaktif maddelerin ısınması, reaksiyonu kontrolsüz şekilde arttıracak ve kontrolsüz radyasyon yayılımına neden olabilecektir.

1.1.2.8. Sınıf 8 Aşındırıcı Maddelerin Yangın Potansiyeli

Sınıf 8 maddeleri yangın açısından risk oluşturma kapasitesi açısından sınırlı kabul edilebilir ancak madde özelinde taşıdığı ikincil riskinin alevlenebilir olma ihtimali bulunmaktadır. Bu nedenle aşındırıcı özelliği bulunan sınıf 8

maddelerinin ikincil risklerinin alevlenebilirlik olup olmadığı hususunun ambalajları üzerindeki ADR etiket ve işaretlerinden tespit edilmesi gerekmektedir. Yangın riski bulunan aşındırıcı maddeler için önlem planlaması gerekebilir. Bu sınıftaki maddelerin aşındırıcı özelliklerinin insan sağlığına zararları oldukça fazladır. Bazı sınıf 8 maddelerinin havada bulunan doğal nem ile reaksiyona girerek aşındırıcı ortamlara neden olabileceğinin akıldan çıkarılmamasında fayda bulunmaktadır.

1.1.2.9. Sınıf 9 Muhtelif Tehlikeli Maddelerin Yangın Potansiyeli

İlk sekiz sınıfa dahil edecek kriterleri karşılamayan ancak tehlike özellikleri barındıran maddeler sınıf 9 olarak kabul edilmiştir. Aslında sınıf 9 maddelerinde direk alevlenebilirlik riski bulunmadığını düşünebiliriz ancak sınıfa dahil olan özellikle lityum piller ve polimer maddeler ile PCB ve PCT adı verilen ürünlerin yangın çıkarma potansiyelleri oldukça fazladır.

Sınıf 9 içerisinde lityum piller önemli bir yer tutmaktadır. Normal şartlar altında yanmalarını beklemeyiz ancak zarar görmüş, darbe ve çarpma etkisi altına girmiş lityum pillerin kendi kendine yangın başlattıklarına çoğumuz şahit olmuşuzdur. Özellikle dünyada enerji depolaması alanında yapılan çalışmalar, daha verimli ve uzun süre enerji depolayan ve kısa sürede şarj edilebilen pil üretimi için çalışmalar bulunmaktadır. Primer pil dediğimiz şarj edilemeyen piller hakkında daha iyimser olabiliriz ancak tekrar şarj edilebilen pillerin polimer teknolojisi ile üretilenlerinin içinde reaksiyon yaparak enerji üretimi devem etmektedir. Bu, pillerin daha uzun kullanımına imkan vermekte ve çabuk bitmemesini sağlamaktadır. Tabii cep telefonunuzun içinde reaksiyon ile enerji üreten bir pil taşıma durumunda kalmak başlı başına bir yangın riski ile yaşamak anlamına da gelmektedir. Lityum metal ve lityum iyon piller ile ilgili en önemli husus, yanmaya başladıklarında söndürmenin hemen hemen imkansız olduğudur.

Ayrıca yanma durumunda yayacağı aşındırıcı ve zehirli buhar ve dumanların da dikkate alınması yararlı olacaktır.

Sınıf 9 içerisinde bulunan Polikarbonlu bifeniller ve polihalojenlenmiş terfeniller gibi PCB ve PCT olarak adlandırılmış maddeler bulunmaktadır. Genellikle trafo veya transistörlerde bulunan ürünler, yanmaları durumunda yayacakları dioksinlerin siyanürden bin kat daha fazla zehir içerdiği bilinmektedir.

2. TEHLİKELİ MADDE SINIFLARINA GÖRE YANGINA KARŞI ALINABİLECEK ÖNLEMLER

Bu bölümde Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanı olarak Birleşmiş Milletler Model Yönetmelikleri çerçevesinde tehlikeli madde olarak tanımlanmış dokuz sınıftaki kimyasalların yangına karşı önleyici tedbirler hakkında öneriler sunulacaktır. Yılda toplam yirmi ton ve üzerinde tehlikeli madde ile iştigal eden işletmelerin Tehlikeli Madde Faaliyet Belgesi alma ve bir TMGD'den hizmet alma zorunluluğu bulunmaktadır. Sahada işletmelerde bulunan TMGD'lerin tehlikeli madde bulunan depolar veya taşıma faaliyetleri esnasında önceden alınabilecek basit ve maliyeti olmayan önlemler sayesinde olası büyük facialarn önüne geçilmesi mümkün olabilecektir. Burada TMGD'nin bakış açısı yangın potansiyelini tehlikeli madde kavramıyla bir araya getirerek önleyici tedbirlerin tehlikeli maddelere karşı alınabilmesi için yol göstermektir.

2.1. Sınıf 1 Patlayıcı Maddeler İçin Yangına Karşı Alınabilecek Önlemler

Patlayıcı ve piroteknik maddeler için temel risk her ne kadar patlama gibi görünse de gerçekte patlayıcıların hassas oldukları etkiler, darbe, çarpma, sürtünme ve ısıdır. Yukarıda saydığım etkilerden uzak tutulabilen bir patlayıcı madde için patlama riskini en aza indirmiş olabiliriz. Patlayıcı maddelerin tehlikelerinden korunmanın en önemli faktörünün eğitim olduğunu tartışmaya

bile gerek görmüyorum. İlgili personelin eğitimli olması ve kriz anında alabileceği aksiyonları seri şekilde uygulayabileceği durumlarda yangın ve patlama tehlikesi bertaraf edilebilir. Özellikle patlayıcı maddelerin yakınında çıkabilecek bir yangında ilgili kişinin hangi aşamaya kadar müdahale edebileceği, hangi aşamadan sonra yetkili itfaiyecilerden destek talep edeceği konusunda bilgi sahibi olması gerekmektedir. Genel prensip olarak patlayıcı madde depolama veya taşıma esnasında yakında yangın çıkması durumunda yangın yüke sirayet etmemişse ilgili kişinin söndürmeye gayret etmesi beklenir. Depoda paletler veya yakın bölgede yangın çıkması, araçta motor veya lastiklerin yanmaya başlaması durumunda kişi, derhal yangını söndürmeye çalışmalıdır. Yangının patlayıcı maddeye ulaşma riski başladığında artık söndürme çalışması, yerini itfaiyeye haber verme ve olay yerinden insanların tahliyesini ön plana almalıdır. Patlayıcı madde yangınlarında insanlar için koruyucu mesafeler beş ton ve altında 500 m, beş ton üzerinde patlayıcı madde içinse 1000 m'dir.

2.2. Sınıf 2 Gazlar İçin Yangına Karşı Alınabilecek Önlemler

Gaz yangınları için öncelikle basınçlı kapların periyodik muayene ve testlerinin yapılmış ve geçerli olduğunun kontrol edilmesi gereklidir. Gaz silindirlerinin en hassa noktası olan valflerinin korunmuş olması ve herhangi bir düşme ve kırılmaya karşı dik konumda sabitlenmelerinin sağlanması, riski minimize eder. Yanma üçgenindeki faktörlerden oksijen ve ateş kaynağının uzak tutulmasına dikkat edilmesinde büyük yarar vardır.

Gazların havadan ağır ve hafif oluşuna göre önlemler planlanmalıdır. Ortam, birikme potansiyeli olan gazların çıkışı için mutlaka havalandırmalı olmalıdır. Özellikle havada ağır gazların zeminde veya zemin altı bölümlere giderek birikebileceği ihtimalinden hareketle zeminde kanal veya merdiven bulunan alanlarda alevlenebilir gazların depolanmasından kaçınılmalıdır.

2.3. Sınıf 3 Alevlenebilir Sıvı Maddeler İçin Yangına Karşı Alınabilecek Önlemler

Alevlenebilir sıvı maddelerin direk yanmayacağı, buharlarının yanma potansiyeli olduğu konusu akıldan çıkarılmamalıdır. Ufak bir kaçaktan büyük bir yangın çıkarma potansiyeli bulunan alevlenebilir sıvı maddelerin kapları daima kapalı olmalı ve ortam devamlı olarak havalandırma sağlayacak şekilde dizayn edilmelidir. Yanma üçgenindeki faktörlerden oksijen ve ateş kaynağının uzak tutulmasına dikkat edilmesinde büyük yarar vardır.

Alevlenebilir sıvılar açısından en büyük risk BLEVE patlamasıdır. Bu nedenle sınıf 3 kaplarının bulunduğu lokasyonlarda maddeyle ilgisi olmasa bile yangın veya aşırı ısınmanın doğurabileceği BLEVE patlaması riski hesaba katılmalıdır.

2.4. Sınıf 4 Alevlenebilir Katı Maddeler, Kendiliğinden Tepkimeye Giren Maddeler, Polimerleştirici Maddeler, Duyarlılığı Azaltılmış Katı Patlayıcılar, Kendi Kendine Yanan Maddeler ve Suyla Reaksiyona Girdiğinde Alevlenebilir Gazlar Çıkartan Maddeler İçin Yangına Karşı Alınabilecek Önlemler

Alevlenebilir katı maddeler için yangının üç faktörü olan yanıcı madde, oksijen ve ateş kaynağının bir araya getirilmemesi çok önemlidir. Bu sınıfta bulunan kendiliğinden tepkimeye giren maddeler, sıcaklıkla stabilize edilmiş oldukları için SADT değerine ulaşmaması için tedbir alınmalı, kontrol sıcaklığı değerini aşmayacak ısı altında muhafaza edilmelidir.

Kendi kendine yanan maddeler için en önemli husus, havayla temas etmemesini sağlamaktır. Piroforik madde olarak tanımladığımız sınıf 4.2 maddeleri çok kısa sürede oksijenle temas halinde yanmaya başlayabilir.

Suyla temas ettiğinde alevlenebilir gazlar çıkartan maddeler için koruma planlamamız gereken faktör sudur. Su bulunan ortamlarda depolanmamalı, taşıma içinse kapalı araçlar tercih edilmelidir.

2.5. Sınıf 5 Yükseltgen Maddeler ve Organik Peroksitler İçin Yangına Karşı Alınabilecek Önlemler

Yükseltgen, yani oksitleyici maddelerden yangın beklentimiz yoktur ancak, yükseltgen özelliğiyle temas ettiği yanmaya yatkın maddelerin yanmasını kolaylaştırdığı için hak etmediği ölçüde yangına karşı özel önlemler planlanmasını gerektirmektedir. Yükseltgen maddelerin bulunduğu ortamda kolayca yanabilecek kuru ot, saman, kağıt parçaları gibi atıklar bulunmamalıdır. Özellikle paletle taşındığı durumlarda ahşap palet tercih edilmemeli, çelik veya plastik paletlerle istiflenmelidirler.

Organik peroksitler ise sınıf 5.2 olarak tanımlanmış peroksitlerin organik formlarını tarif ederler. Bu maddeler de çoğunlukla sıcaklıkla stabilize edilmişlerdir. Bu nedenle SADT değerini aşmaması, reaksiyona girerek patlama veya zehirli ve aşındırıcı gaz üretmemeleri açısından önemlidir. Ortamda kontrol sıcaklığı değerini aşmayacak şekilde ısı kontrolü altında bulundurulmalıdır.

2.6. Sınıf 6 Zehirli ve Bulaşıcı Maddeler İçin Yangına Karşı Alınabilecek Önlemler

Aslında zehirli ve bulaşıcı maddelerin yangın riskinden bahsedemeyiz. Ancak zehirli maddelerin aynı zamanda alevlenebilir özellik taşıyan iki veya üç tehlike barındıran çeşitleri bulunmaktadır. Doğal olarak sınıf 6.1 maddelerinden ikincil riski alevlenebilirlik olanların yanması sonucunda ortama zehirli duman ve buharların yayılması mümkündür. Hem zehirli, hem de alevlenebilir maddeler için ambalajlarının üzerinde bulunan ADR etiketlerinden yardım alarak sınıf 3 teki önlemlerin gözden geçirilmesi önerilir.

2.7. Sınıf 7 Radyoaktif Maddeler İçin Yangına Karşı Alınabilecek Önlemler

Sınıf 7 radyoaktif maddelerle ilgili Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı (IAEA) tarafından ortaya konan kurallar bağlayıcıdır. Sözü edilen kurallar

ülkemizde TENMAK tarafından regüle edilmektedir. Diğer sınıflarda olduğu gibi radyoaktif maddelerin de ısıya karşı hassasiyeti bulunmaktadır. Isı artışı, radyoaktif maddenin reksiyon hızını arttırır ve risk oluşur. Bu nedenle depolama ve taşıma esnasında ilgili yetkili kurumların talimatlarına uyulmalıdır. Ayrıca radyoaktif madde bulunduran işletmelerin yetki belgeli bir Radyasyondan Korunma Sorumlusundan (RKS) hizmet alma zorunluluğu bulunmaktadır.

2.8. Sınıf 8 Aşındırıcı Maddeler İçin Yangına Karşı Alınabilecek Önlemler

Aşındırıcı maddelerin yangın riski bulunmamaktadır ancak ikincil risk olarak aşındırıcılığa ek alevlenebilirlik riski taşıyanlar için yangın riski bulunmaktadır. Bu riski doğru değerlendirmek için ambalajların üzerinde bulunan ADR etiketlerinden istifade etmekte fayda bulunmaktadır. İkincil riski alevlenebilirlik olan aşındırıcı maddeler için sınıf 3 te bahsedilen önlemlerin alınması gerekmektedir.

2.9. Sınıf 9 Muhtelif Tehlikeli Maddeler İçin Yangına Karşı Alınabilecek Önlemler

Sınıf 9 da yangına karşı önlem alınması gereken en önemli iki gruptan birincisi lityum pillerdir. Normal şartlar altında yangın riski yüksek olmayan lityum pillerin hatalı kullanım, düşme, çarpma ve aşırı şarjları yangın riskini oldukça arttırmaktadır. Bu tip muhtemel hasarlı pillerin bekletilmeden elden çıkartılması yararlı olacaktır. Yanmaya başladıklarında söndürmek neredeyse imkânsız hale gelmektedir. Bu nedenle kullanım esnasında kayıtları tutulmalı, kimin kullandığı ne kadar kullandığı ve ne zaman hangi işlemi gördüğü kaydedilmelidir.

Sınıf 9 içerisinde yanma potansiyeli olan bir diğer alt grup ise atıklardır. Özellikle yağlı bez atıkları ile alüminyum parçacıkları ısı altında kolayca tutuşabilmektedir.

Bu tip atıkların hava geçirgen kaplarda geçici depolanması ve mümkün oldukça kısa süre bekletilerek bertarafa gönderilmesi en uygun aksiyondur.

3. SONUÇ

Çalışmada, Birleşmiş Milletler Model Yönetmeliklerine göre 9 sınıf altında toplanan tehlikeli maddelerin yangın açısından incelenerek alınması gereken önleyici tedbirlerin önemini arttırdığı vurgulanmıştır. Türkiye, ADR anlaşmasına taraf olduktan sonra karayollarından yapılacak taşıma faaliyetlerinde yer alması gereken Tehlikeli Madde Güvenlik Danışmanlarına dair kuralları uygulamaya başlamıştır. Bu kurallar tehlikeli maddelerin işletme için alınması, boşaltılması, paketlenmesi, yüklenmesi, doldurulması ve gönderilmesi aşamasında 54 ülkenin mutabakatıyla alınmış anlaşmanın eklerinde bulunan kuralların aynı şekilde uygulanmasını içermektedir. Bu bildiride 9 ayrı sınıf içerisinde değerlendirilen tehlikeli maddelerin yangın açısından bir değerlendirmesi ve özellikle yangın öncesinde alınması gereken önlemler anlatılmış ve uygulamaları verilmiştir.

KAYNAKLAR

ADR Anlaşması ve Ekleri, (2025). Tehlikeli Malların Karayolu ile Uluslararası Taşımacılığına İlişkin Anlaşma https://uhdgm.uab.gov.tr/uploads/pages/uluslararasi-sozlesmeler/adr-2023-cilt-1-vurgusuz.pdf

Uzel, E., & Durdağ, C. (2014). Sürücülerin Tehlikeli Madde Taşımacılığı Eğitimine Bakış Açıları Hakkında Kalitatif Bir Çalışma. Beykoz Akademi Dergisi, 2(1), 55-73. https://doi.org/10.14514/BYK.m.21478082.2014.2/1.55-73

Uzundağ, Ş. (2020). Tehlikeli Madde Taşımacılığında Risk Analizi Yapılarak Coğrafi Bilgi Sistemi ile Güzergâh Belirlenmesi, T.C. Aydın Adnan Menderes Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü İşletme Anabilim Dalı, Doktora Tezi, Aydın.

YERALTI MADEN İŞLETMELERİNDE YAPAY ZEKA DESTEKLİ İŞ GÜVENLİĞİ TEDBİRLERİNİN ARTTIRILMASI

INCREASING ARTIFICIAL INTELLIGENCE-SUPPORTED OCCUPATIONAL SAFETY MEASURES IN UNDERGROUND MINING OPERATIONS

Sami Bodur
Maden Mühendisi , Soma / Manisa

ÖZ: Yeraltı madenciliği, doğal kaynakların yeraltından çıkarılması sürecinde yüksek risk barındıran, dinamik ve karmaşık bir sektördür. Bu riskler arasında ani gaz patlamaları, göçükler, su baskınları, yangınlar ve ekipman arızaları gibi çok sayıda tehlike yer alır. Geleneksel iş güvenliği yaklaşımları, tecrübeye dayalı risk tahminleri, periyodik denetimler ve sınırlı teknolojik destekle yürütülmektedir. Ancak bu yöntemler, anlık durum değişikliklerine hızlı tepki verememekte ve sıfır kaza hedefine ulaşmakta yetersiz kalmaktadır. Dijital dönüşüm çağında yapay zekâ (YZ) teknolojileri, endüstriyel güvenlik paradigmalarını kökten değiştirme potansiyeline sahiptir. Özellikle büyük veri analitiği, makine öğrenmesi, görüntü işleme, derin öğrenme ve nesnelerin interneti (IoT) gibi alanlardaki gelişmeler, yeraltı madenciliğinde de uygulanabilirliğini ortaya koymuştur. YZ destekli sistemler, riskli durumları önceden öngörebilir, anomali tespiti yapabilir, işçi davranışlarını analiz edebilir ve gerçek zamanlı uyarılarla müdahale süresini kısaltabilir. Bu makalede, yapay zekâ teknolojilerinin yeraltı maden işletmelerinde iş sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından nasıl uygulanabileceği, mevcut örnekler ve potansiyel uygulama alanları üzerinden detaylı biçimde ele alınacaktır. Ayrıca, bu teknolojilerin uygulanmasında karşılaşılan zorluklar, etik boyutlar ve gelecek perspektifleri de değerlendirilerek bütüncül bir yaklaşım sunulacaktır. Bu çalışma ile amaçlanan hem sektördeki uygulayıcılar hem de akademisyenler için YZ'nin İSG'ye entegrasyonuna yönelik somut bir çerçeve çizmek ve Türkiye madenciliği için ileriye dönük bir vizyon ortaya koymaktır.

Anahtar Kelimeler: Yapay Zekâ YZ , İş Sağlığı ve Güvenliği İSG , Sanal Gerçeklik VR

ABSTRACT: *Underground mining is a high-risk, dynamic, and complex sector involving the extraction of natural resources from beneath the earth's surface. These risks include sudden gas explosions, collapses, flooding, fires, and equipment failures, among many others. Traditional occupational safety approaches rely on experience-based risk assessments, periodic inspections, and*

limited technological support. However, these methods often fall short in responding rapidly to sudden changes and are insufficient in achieving the goal of zero accidents.In the era of digital transformation, artificial intelligence (AI) technologies have the potential to fundamentally reshape industrial safety paradigms. Advances in big data analytics, machine learning, image processing, deep learning, and the Internet of Things (IoT) have demonstrated their applicability within the context of underground mining. AI-supported systems can predict hazardous conditions in advance, detect anomalies, analyze worker behavior, and provide real-time alerts to shorten response times.This paper aims to explore in detail how AI technologies can be applied in terms of occupational health and safety (OHS) in underground mining operations, based on current examples and potential areas of implementation. In addition, it will present a holistic approach by discussing the challenges faced during the implementation of these technologies, ethical considerations, and future perspectives.The objective of this study is to provide a concrete framework for the integration of AI into OHS, offering valuable insights for both industry practitioners and academics, and to present a forward-looking vision for the future of mining in Turkey.

Keywords: *Artificial intelligence AI , Occupational Health and Safety OHS , Virtual Reality VR*

1. YAPAY ZEKANIN TANIMI ve MADENCİLİKTEKİ KULLANIM ALANLARI

Yapay zekâ (YZ), insan benzeri düşünme ve karar verme yeteneklerini makineler aracılığıyla simüle etmeyi amaçlayan disiplinler arası bir bilim dalıdır. Gelişmiş algoritmalar sayesinde sistemler, veri analizleri yapabilir, örüntüleri tanıyabilir, geçmiş tecrübelerden öğrenebilir ve kendi başına tahminlerde bulunabilir. Madencilik sektörü gibi yüksek riskli ve değişken çevre koşullarına sahip alanlarda bu yetenekler, iş güvenliği açısından kritik fırsatlar sunmaktadır.

1.1. Yapay Zekânın Temel Bileşenleri

- **Makine Öğrenmesi (ML):** Sistemlerin, verilerden öğrenerek karar verme süreçlerini iyileştirmesi.

- **Derin Öğrenme:** Çok katmanlı yapay sinir ağları ile daha karmaşık veri örüntülerini algılayabilme.
- **Bilgisayarla Görü (Görüntü İşleme):** Kameralarla elde edilen görsellerin analiz edilerek riskli durumların tespiti.
- **Doğal Dil İşleme (NLP):** İnsan konuşmalarını ve metinleri analiz ederek anlam çıkarımı yapılması.
- **Veri Madenciliği ve Büyük Veri Analizi:** Sahadan gelen büyük miktarda sensör verisinin hızlı ve anlamlı biçimde değerlendirilmesi.

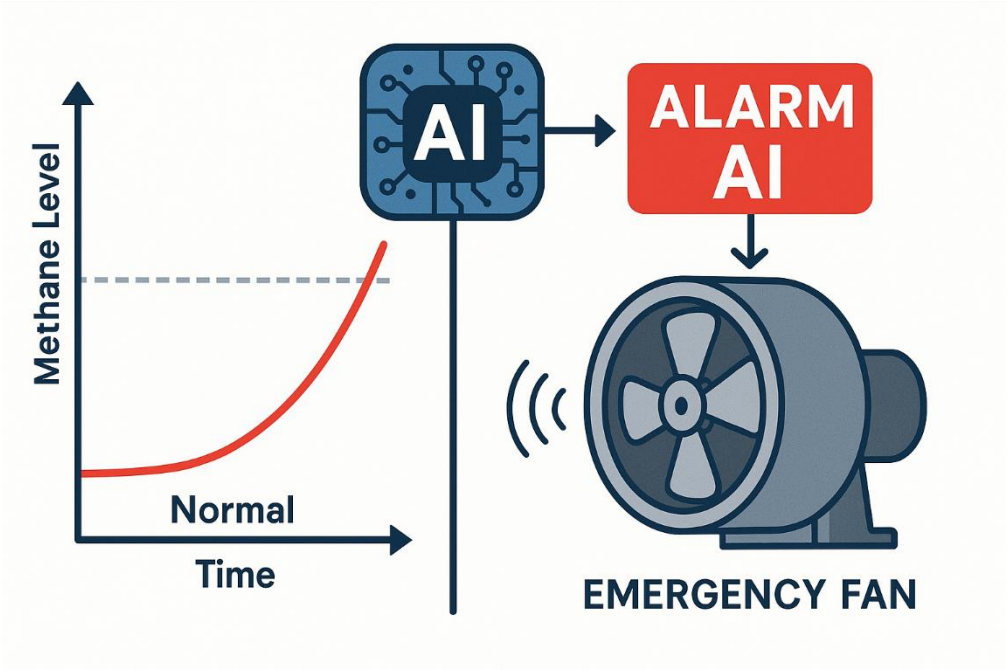
1.2. Kullanım Alanları ve Örnek Uygulamalar

1.2.1. Gaz Seviyesi ve Ortam Analizi

Yeraltı madenlerinde metan ve karbonmonoksit gazları en büyük risk unsurlarından biridir. Geleneksel yöntemlerde belirli aralıklarla ölçüm yapılırken, YZ destekli sistemlerde sürekli veri akışı izlenir ve gaz seviyesindeki anomaliler algoritmalar tarafından otomatik olarak tespit edilir (IRJMETS, 2024; Li vd., 2022).

Örnek: Charles Darwin Üniversitesi'nin yürüttüğü bir çalışmada, yapay zekâ algoritmalarının metan gazı seviyelerindeki değişiklikleri 30 dakika öncesinden tahmin edebildiği gösterilmiştir. Bu tür çalışmalar, yapay zekâ destekli sistemlerin maden güvenliğinde nasıl kullanılabileceğine dair önemli bilgiler sunmaktadır

Ayrıca, Colorado School of Mines tarafından geliştirilen bir yapay zekâ algoritması, yeraltı uzun ayak kömür madenciliğinde patlayıcı metan-hava karışımlarının oluşumunu gerçek zamanlı olarak tahmin edebilmekte ve bu sayede patlamaların önlenmesine katkı sağlamaktadır.



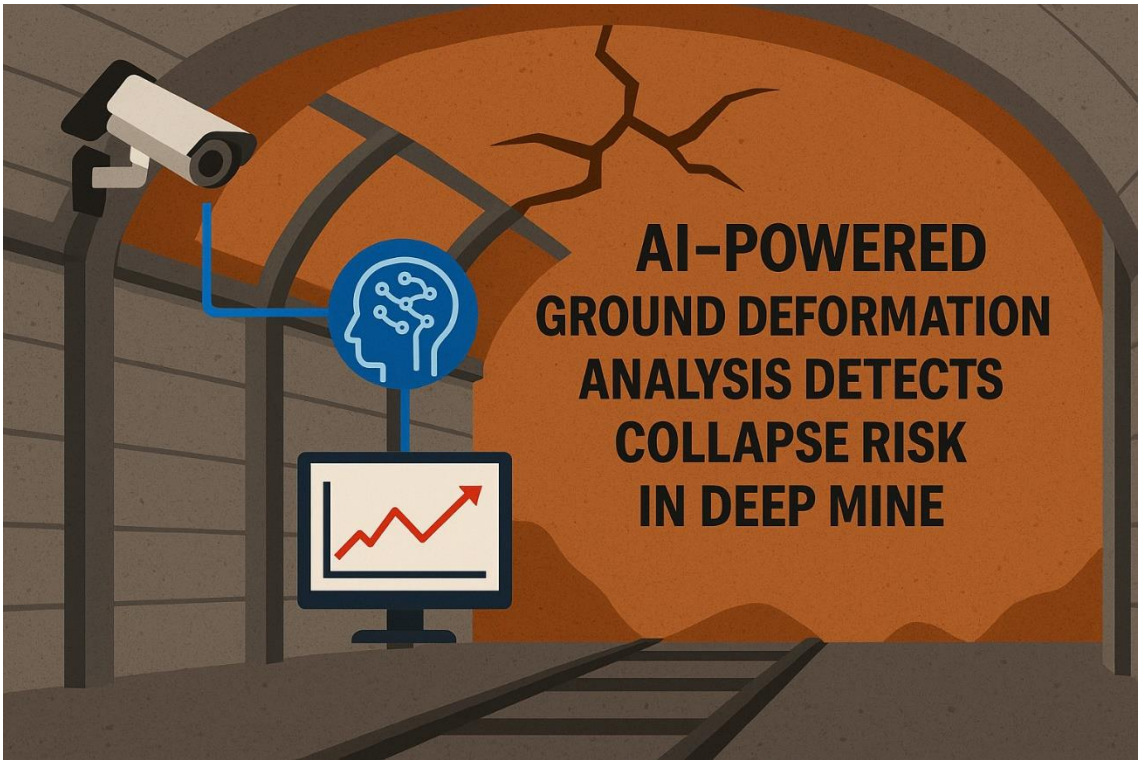
Şekil 1. YZ tarafından oluşturulan acil durum fanının devreye alınması (Bodur, 2025)

1.2.2. Yer Hareketliliği ve Göçük Riski Takibi

YZ, jeomekanik sensörlerden gelen verileri analiz ederek tavan çökmeleri ya da şev kaymaları gibi olayları önceden tahmin edebilir. Bu sistemler, olası bir göçük riskine karşı tahkimat noktalarında önlem alınmasına olanak sağlar (Heinrich ve Weber, 2021).

Örnek: Polonya'daki bir derin maden işletmesinde, yapay zekâ ile güçlendirilmiş yer deformasyon analizi yazılımı, 7 gün içinde yaşanacak bir çökme riskini %82 doğrulukla öngörmüş, bu da kazasız tahliye kararının alınmasını sağlamıştır. Bahsedilen olay, Polonya'nın batısında bulunan Rudna Bakır Madeni'nde 29 Ocak 2019 tarihinde meydana gelen bir sismik olay ve ardından yaşanan kaya patlaması ile ilgilidir. Bu olay, yer deformasyonlarının tespiti ve analizinde yapay zekâ destekli sistemlerin etkinliğini göstermektedir. Olayın ardından yapılan araştırmalarda, sismolojik ve jeodezik veriler kullanılarak yer deformasyonları detaylı bir şekilde incelenmiştir. Bu çalışmalar, yapay zekâ destekli analizlerin maden güvenliği açısından ne denli önemli olduğunu ortaya koymuştur. Bu olay,

yeraltı madenciliğinde yapay zekâ teknolojilerinin güvenlik önlemleri açısından nasıl kritik bir rol oynayabileceğini gösteren önemli bir örnektir. Bu tür teknolojilerin kullanımı, olası kazaların önceden tahmin edilerek gerekli önlemlerin alınmasına olanak tanımaktadır.



Şekil 2. Tahkimatta oluşan deformasyonların AI kameralarla algılanıp ; oluşturulan senaryoya göre önceden tedbir alınması (Bodur, 2025)

1.2.3. Ekipman ve Sistem Sağlığı İzleme

İş makineleri, konveyörler, havalandırma sistemleri gibi ekipmanlardan gelen titreşim, ısı ve performans verileri analiz edilerek olası arızalar önceden tespit edilebilir. Bu da yangın, duruş ve yaralanma risklerini azaltır (Pena vd., 2024).

Örnek: Şili'deki bir bakır madeninde, konveyör bant sistemine entegre edilen makine öğrenme algoritması sayesinde rulman arızaları 3 gün önceden tespit edilerek büyük bir üretim kaybı önlenmiştir. Bahsedilen örnek, Şili'deki

Codelco'ya ait El Teniente bakır madeninde gerçekleştirilen bir projeye dayanmaktadır. Bu projede, ContiTech firması tarafından sağlanan akıllı konveyör bant sistemleri ve elektronik izleme teknolojileri kullanılmıştır. Bu sistemler, rulman arızalarını erken tespit ederek büyük üretim kayıplarının önlenmesine katkı sağlamıştır.

Ayrıca, Şili merkezli COREAL firması tarafından geliştirilen bir yapay zekâ destekli izleme sistemi, konveyör bantlarındaki rulman arızalarını erken aşamada tespit etmeye yönelik olarak kullanılmıştır. Bu sistem, sıcaklık ve titreşim analizleri yoluyla rulman arızalarını önceden belirleyerek, plansız duruşların ve üretim kayıplarının önüne geçmeyi hedeflemektedir.

Bu örnekler, yapay zekâ ve ileri izleme teknolojilerinin maden işletmelerinde nasıl etkin bir şekilde kullanılabileceğini göstermektedir. Bu tür sistemlerin uygulanması, bakım maliyetlerini azaltmakta ve operasyonel verimliliği artırmaktadır.

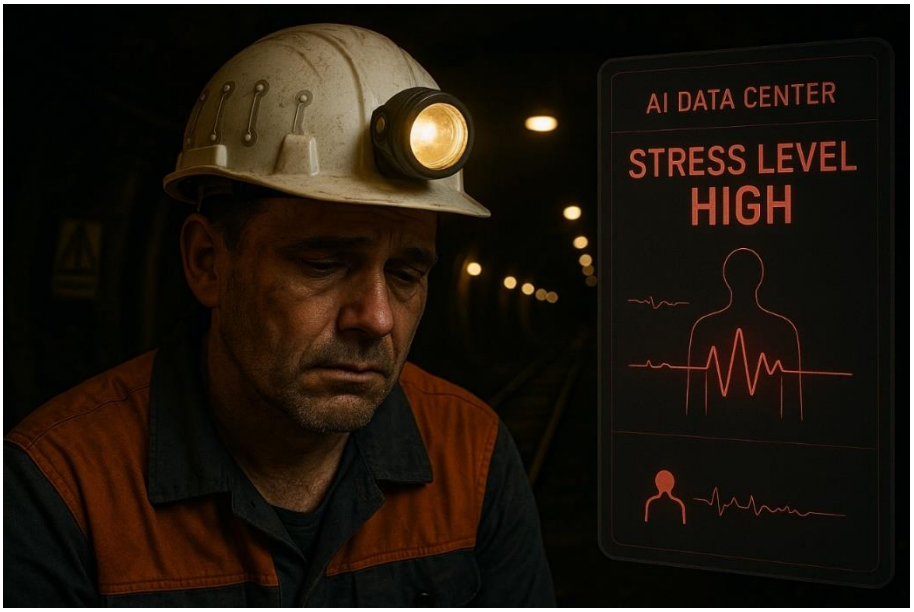
Şekil 3. Rulmana entegre edilen makine öğrenme algoritması (Bodur, 2025)

1.2.4. İşçi Takibi ve Davranış Analitiği

Giyilebilir sensörler veya kamera sistemleri ile işçilerin lokasyonları, vücut sıcaklığı, kalp atış hızı gibi parametreler izlenebilir. Yapay zekâ, bu verilerden yorgunluk, stres veya tehlikeli davranışları analiz ederek müdahale imkanı tanır.

Örnek: Çin'de bir kömür ocağında, baret içine yerleştirilen biyometrik sensörlerle çalışanların stres seviyeleri analiz edilmiş, riskli davranışlarda bulunanlar önceden uyarılarak kaza oranlarında %30 düşüş sağlanmıştır (AIP, 2023).

Bahsedilen örnek, Çin'in Shandong Eyaleti'nde bulunan Jiangzhuang Kömür Madeni'nde uygulanan bir projeye dayanmaktadır. Bu projede, Hikvision tarafından geliştirilen yapay zekâ destekli akıllı video izleme sistemleri kullanılarak, çalışanların güvenliği artırılmıştır. Sistem, çalışanların güvenli olmayan davranışlarını gerçek zamanlı olarak tespit ederek, anında uyarılar göndermekte ve böylece kazaların önlenmesine katkı sağlamaktadır (Ultralytics, 2024). Örneğin, çalışanların vinçlere tehlikeli derecede yaklaşmaları gibi durumlar otomatik olarak algılanmakta ve güvenlik ekipleri bilgilendirilmektedir.



Şekil 4. Barette bulunan ai sensörler sayesinde çalışan davranışları takip edilebilmektedir (Bodur, 2025)

1.2.5. İletişim ve Karar Destek Sistemleri

YZ destekli karar destek sistemleri, çok sayıda veriyi entegre ederek vardiya amirlerine ve İSG uzmanlarına anlık risk haritaları sunar. Bu sistemler, acil durum senaryolarında en hızlı tahliye rotalarını bile önerebilir.

2. YAPAY ZEKA DESTEKLİ İSG UYGULAMALARINDAN ÖRNEKLER

Yapay zekâ teknolojileri, yeraltı madenciliğinde henüz başlangıç aşamasında olsa da, dünya genelinde öncü uygulamalarla somut başarılar elde edilmiştir. Bu bölümde hem dünyadan hem de Türkiye'den bazı örnek vakaları incelenmiş, yapay zekânın iş güvenliği alanında nasıl değer ürettiğini ortaya konulmuştur.

2.1. Çin – İşçi Takip Sistemleri ile Kaza Önleme

Çin'in Guizhou bölgesinde yer alan bir kömür madeninde, işçilerin başlıklarına entegre edilen giyilebilir sensörler; kalp atış hızı, vücut ısısı ve konum verilerini sürekli izlemektedir. Bu sistem, bir işçinin aniden bayılması veya olağandışı bir hareket modeli göstermesi durumunda alarm vererek acil müdahale birimlerini harekete geçirmektedir (AIP, 2023).

Sonuç: Sistem devreye alındıktan sonraki 12 ayda, bayılma kaynaklı yaralanmalarda %40 oranında azalma kaydedilmiştir.

2.2. Almanya – Tahkimat Takip Sistemi (Görüntü İşleme)

Almanya'da yapılan çalışmalarda, tavan tahkimat sistemlerine yönelik görüntü işleme teknolojisi kullanılmaktadır. Galeri boyunca yerleştirilen kameralar, tahkimat elemanlarındaki deformasyonları taramakta ve yapay zekâ algoritması bu verileri analiz ederek riskli bölgeleri önceden belirlemektedir (Heinrich ve Weber, 2021).

RWTH Aachen Üniversitesi – Gelişmiş Madencilik Teknolojileri Enstitüsü (AMT): Bu enstitü, yeraltı ve açık ocak madenciliğinde otomasyon ve dijitalleşme üzerine araştırmalar yapmaktadır. Akıllı sensörler, veri tabanlı uygulamalar ve süreç optimizasyonu gibi konulara odaklanmaktadır.

2.3. Şili – Ekipman Sağlığı ve Yangın Önleme

Şili'nin kuzeyindeki açık ve yeraltı entegre madenlerinde kullanılan YZ tabanlı sistemler, özellikle konveyör bant sistemlerinde rulman sıcaklığı ve motor titreşimlerini analiz etmektedir. Normalin dışına çıkan titreşim profilleri, olası yangın risklerini önceden tahmin etmekte ve sistem otomatik olarak durdurma talimatı verebilmektedir. Örnek gösterilen işletme Chuquicamata bakır madenidir (Pena vd., 2024; Zhao ve Li, 2021).

Sonuç: Yangın risklerinin %70'i önceden tespit edilerek üretim duruşları azaltılmış, iş kazaları ise %15 oranında düşürülmüştür.

2.4. Türkiye – Erken Uyarı Sistemleri Üzerine Gelişmeler

Türkiye'de son yıllarda TTK, TKİ ve bazı özel işletmeler tarafından yapay zekâ destekli izleme sistemleri üzerinde pilot projeler başlatılmıştır. Özellikle Zonguldak bölgesindeki kömür madenlerinde; metan gazı, CO seviyeleri ve sıcaklık verileri, merkezi bir yazılım tarafından analiz edilmekte ve anomali durumlarında erken uyarı verilmektedir (TTK, 2022).

Potansiyel: Bu sistemler henüz başlangıç aşamasında olmakla birlikte, 3 vardiya süresince sahadan toplanan verilerle geliştirilen algoritmalar sayesinde, ani gaz boşalmalarına karşı daha hızlı reaksiyon sağlanması hedeflenmektedir.

2.5. Saha Simülasyonları ve Sanal Gerçeklik (VR) ile Eğitim

Birçok gelişmiş ülkede, yapay zekâ destekli simülasyon sistemleriyle işçilere riskli senaryolar sanal ortamda gösterilmekte, böylece gerçek olaylara

karşı hazırlıklı olmaları sağlanmaktadır. VR gözlükleriyle entegre edilen bu sistemler, tecrübeye dayalı öğrenmeyi güçlendirerek insan hatasını minimize eder (Epsum, 2024).

Örnek: Kanada'daki bir nikel madeninde, yeni başlayan işçilere VR ile göçük, yangın, metan sızıntısı gibi senaryolar yaşatılmış, eğitim sonrası refleks hızlarında ortalama %35'lik artış kaydedilmiştir. Örnek gösterilen işletme Kanada'nın Ontario eyaletinde faaliyet gösteren Norcat şirketidir. Ayrıca yine Kanada merkezli Bit Space Development Ltd. gibi şirketler , madencilik sektörüne özel VR güvenlik eğitimleri geliştirmekte ve uygulamaktadır (Wang ve Zhang, 2023; Epsum, 2024).

3. UYGULAMA ZORLUKLARI VE ETİK BOYUTLAR

Yapay zekânın yeraltı madenciliğine entegrasyonu büyük potansiyel barındırmakla birlikte, bu süreçte teknik, organizasyonel ve etik birçok zorlukla karşılaşılmaktadır. Bu bölümde, YZ'nin iş güvenliği alanındaki kullanımında dikkat edilmesi gereken temel sorun başlıklarını ele alınmıştır.

3.1. Veri Kalitesi ve Erişilebilirlik Sorunları

Yapay zekâ sistemlerinin en temel girdisi "veri"dir. Ancak birçok maden işletmesinde hâlâ veri üretimi ya yetersizdir ya da düzensiz biçimde toplanmaktadır. Eski ekipmanlardan gelen sinyallerin dijitalleştirilememesi, sensörlerin bakım eksikliği veya saha çalışanlarının manuel veri giriş hataları, algoritmaların verimli çalışmasını engeller (Li vd., 2022). **Öneri:**YZ uygulamaları öncesinde veri altyapısının modernize edilmesi, sensör ağı bütünlüğünün sağlanması ve yüksek kaliteli, düzenli veri akışının garanti altına alınması gerekir.

3.2. Sistem Güvenilirliği ve Gerçek Zamanlılık

Madencilik gibi anlık değişkenliğin çok yüksek olduğu alanlarda, gecikmeler veya yanlış alarmlar ciddi güvenlik zaaflarına yol açabilir. YZ sistemlerinin "yanlış pozitif" ya da "yanlış negatif" uyarılar vermesi, hem sahadaki güveni azaltır hem de otomatik karar alma süreçlerini sekteye uğratır (Heinrich ve Weber, 2021).

Örnek Sorun:Görüntü işleme ile tahkimat deformasyonu tespit eden bir sistem, algılayıcı kirlenmesi nedeniyle yanlış alarm verirse, gereksiz duruşlar yaşanabilir veya tam tersi gerçek risk gözden kaçabilir.

3.3. Çalışanların Teknolojiye Direnci

Yeraltında çalışan personelin bir kısmı teknolojiyi "denetim aracı" olarak görebilir. Sürekli takip edilme hissi, çalışan mahremiyetine zarar verebilir ve motivasyon düşüklüğüne neden olabilir. Ayrıca yapay zekânın karar alma süreçlerine müdahil olması, deneyimli personelin bilgi ve tecrübesini önemsizleştiriyormuş gibi bir algı yaratabilir. **Çözüm:** İSG teknolojilerinin bir "göz" değil, bir "yoldaş" olduğu vurgulanmalıdır. Eğitim programlarıyla YZ sistemlerinin işçilerin güvenliğini artırma amacı taşıdığı anlatılmalı, uygulamalar şeffaf ve katılımcı bir biçimde devreye alınmalıdır.

3.4. Etik ve Hukuki Sorumluluklar

YZ sistemleri karar verdiğinde, bu kararın sorumluluğu kime aittir? Örneğin, yapay zekâ destekli bir tahliye kararı verilirse ve bunun sonucunda üretim zararı oluşursa, sorumluluk işletmede midir, yazılım üreticisinde mi? Ya da bir kazanın önceden tahmin edilip edilmediği konusunda algoritmalar mahkemelerde delil olarak kullanılabilir mi? Bu sorular, madencilik sektöründe henüz net cevabı olmayan etik ve hukuki ikilemleri gündeme getirmektedir (WEF, 2021). **Gelecek Perspektifi:** Yapay zekâ tabanlı sistemlerin yasal zemini, endüstri

4.0'ın ilerlemesiyle birlikte mutlaka güncellenmelidir. Hukuki mevzuatlar, "algoritmik sorumluluk" kavramını içerecek şekilde yeniden yapılandırılmalıdır.

3.5. Siber Güvenlik ve Veri Mahremiyeti

YZ sistemlerinin siber saldırılara açık olması, madenin güvenliğini doğrudan tehlikeye atabilir. Kritik altyapılara yapılacak bir saldırı, sensör verilerinin manipülasyonuna, yanlış yönlendirmelere veya üretim duruşlarına yol açabilir. Ayrıca çalışanlara ait biyometrik verilerin kötüye kullanılması, ciddi etik ihlallere neden olabilir (WEF, 2021). **Öneri:** YZ altyapıları siber güvenlik önlemleriyle birlikte düşünülmeli, veri anonimleştirme, şifreleme ve erişim denetimi gibi katmanlarla korunmalıdır.

4. GELECEK PERSPEKTİFİ VE ÖNERİLER

Yapay zekânın yeraltı madenciliğinde iş güvenliğine entegre edilmesi, yalnızca teknolojik bir adaptasyon değil, aynı zamanda kültürel ve yapısal bir dönüşüm sürecidir. Gelişmiş ülkeler bu alanda önemli mesafeler kat etmişken, Türkiye için de bu alana stratejik bakış açısıyla yaklaşmak kaçınılmaz hale gelmiştir. Aşağıda, bu dönüşüm sürecine ilişkin geleceğe dair öngörüler ve uygulanabilir öneriler yer almaktadır.

4.1. Türkiye'de Yapay Zekâ Destekli İSG Sistemi Kurulmalı

Türkiye'de madencilik sektörü için özel olarak tasarlanmış, yapay zekâ tabanlı ulusal bir "İSG Veri Platformu" oluşturulmalıdır. Bu platform, TTK, TKİ, özel sektör ve üniversiteler tarafından ortak kullanılabilir ve sürekli öğrenen algoritmalarla beslenebilir. Madenlerden gelen sensör, kamera ve insan verileri anonimleştirilerek yapay zekâ sistemlerinde işlenmeli, ulusal düzeyde risk haritaları çıkarılmalıdır (MED, 2023).

4.2. Yerli Teknoloji Geliştiricilere Yönelik Teşvikler Artırılmalı

YZ sistemleri genellikle yüksek lisanslı yazılımlarla ithal edilmektedir. Oysa Türkiye'de birçok mühendislik fakültesinde bu yetkinlikte yazılım geliştiricileri ve veri bilimcileri yetişmektedir. Maden sektörü, bu genç yeteneklerle buluşmalı ve yerli çözümler için AR-GE merkezleri kurulmalıdır. Yerli çözümler hem maliyetleri düşürür hem de saha ihtiyaçlarına özel uyarlamalar yapılmasını kolaylaştırır. **Somut Öneri:** Sanayi ve Teknoloji Bakanlığı ile Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı iş birliğinde "Yapay Zekâ ile Güvenli Madencilik Destek Programı" başlatılabilir.

4.3. Üniversite-Sanayi İşbirliği Yeniden Tanımlanmalı

Mevcut akademik çalışmaların birçoğu saha uygulamasına dönüşememektedir. Bu bağlamda, üniversiteler ile madencilik şirketleri arasında daha sıkı, sonuç odaklı işbirlikleri kurulmalı, tez ve projeler doğrudan sahada test edilmelidir. **Model Önerisi:** "Uygulamalı İSG İnovasyon Atölyeleri" oluşturularak, üniversite öğrencileri gerçek maden verileri üzerinde projeler geliştirebilir. Bu projeler yapay zekâ ile güçlendirilmiş algoritmaların prototiplerine dönüşebilir.

4.4. Madencilik Kültürüyle Uyumlu Dijital Dönüşüm Yaklaşımı Geliştirilmeli

Dijitalleşme tek başına teknoloji yatırımı değildir. İnsan, sistem ve kültür bileşenlerinin uyum içinde dönüşmesi gerekir. Madenlerde görev yapan deneyimli personelin bilgi birikimi, algoritmalara doğrudan yansıtılmalı; bu sayede "uzman sistemler" oluşturulmalıdır (Ultralytics, 2024).

Ayrıca, sahadaki çalışanlara yönelik eğitimler, "tehdit" değil, "destek" odaklı olmalı; bu dönüşüm bir empoze değil, birlikte öğrenme süreci olarak kurgulanmalıdır.

4.5. Yapay Zekâ ile Etik, Güvenli ve İnsan Merkezli Madencilik Mümkündür

Geleceğin madenciliği; insanı merkeze alan, riskleri öngörebilen, kararları destekleyen ve bilgiye dayalı yönetilen bir sistemle mümkün olacaktır. Yapay zekâ bu vizyonun anahtarıdır. Ancak bu dönüşüm süreci, insan faktörünü dışlamadan, tam tersine onu güçlendiren bir anlayışla yürütülmelidir (Kuppa, 2025).

5. SONUÇ

Yeraltı madenciliği, doğası gereği riskli ve karmaşık bir faaliyet alanıdır. Ancak bu zorluklar, teknolojinin sunduğu olanaklarla daha güvenli ve sürdürülebilir hale getirilebilir. Yapay zekâ, sadece veri analiz eden bir araç değil, aynı zamanda insan hayatını korumaya yönelik stratejik bir destek mekanizmasıdır.

Bu makalede, dünya genelinde ve Türkiye'de yapay zekânın iş güvenliği alanında sunduğu olanaklar, uygulanabilir örnekler ve karşılaşılan zorluklar bütüncül bir şekilde ele alınmıştır. Açıkça görülmektedir ki:

- Yapay zekâ, erken uyarı sistemlerinden görüntü işleme tekniklerine, işçi davranışlarının analizinden ekipman sağlığının takibine kadar geniş bir yelpazede fayda sağlamaktadır.
- Veri kalitesi, çalışan kabullenişi ve etik sorumluluklar, bu teknolojilerin başarıyla uygulanmasının ön koşullarıdır.
- Türkiye'nin bu alanda atacağı adımlar, sadece kazaları azaltmakla kalmayacak, aynı zamanda yerli teknolojilerin gelişimine ve madencilik kültürünün dijital dönüşümüne katkı sağlayacaktır.

Sonuç olarak, yapay zekâ ile desteklenen iş güvenliği sistemleri; işçinin yalnız olmadığını, arkasında onu koruyan bir "dijital yoldaş" olduğunu göstermek için güçlü bir fırsattır.

Sloganımız şu olmalı:

“Makineler veriyi, insanlar değeri üretir; yapay zekâ ise bu iki gücü birleştirir.”

KAYNAKÇA

AIP Conference Proceedings. (2023). IoT-based smart wearables for mine worker’s safety. https://pubs.aip.org/aip/acp/article/2938/1/030007/2930652

Bodur, S. (2025). Görseller Sami Bodur’un teknik açıklamalarla yönlendirdiği OpenAI destekli yapay zeka aracılığıyla oluşturulmuştur.

Epsum Labs. (2024). Next-Gen AR & VR Solutions for Mining Education and Safety Training. https://www.epsumlabs.com/what-we-do/industries/mining/enhancing-safetyand-operations

Heinrich, M., & Weber, D. (2021). Smart Mining Technologies for Underground Hazard Detection. Mining Engineering Journal, 78(3), 48-54.

IRJMETS. (2024). IoT–Based Coal Mine Safety Monitoring and Alerting System. https://www.irjmets.com/uploadedfiles/paper/issue_4_april_2024/53126/final/fin_irjmets1713661192.pdf

Kuppa, S. (2025). AI: A New Era for Mining - The Shift No One Saw Coming. LinkedIn. https://www.linkedin.com/pulse/ai-new-era-mining-shift-one-saw-coming-jan-witte-i27ve

Li, Z., Zhang, Y., & Wang, L. (2022). AI-based Risk Assessment in Underground Coal Mines. Journal of Safety Science, 145, 105521.

Maden ve Enerji Dergisi (2023). Türkiye’de Maden İşletmelerinde Dijitalleşme Raporu.

Peña, G., Martínez, A., & Velázquez, P. (2024). Methodology proposal for the development of failure prediction models in mining conveyor belts. Reliability Engineering & System Safety, 243. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0951832024007804

TTK Ar-Ge Dairesi Başkanlığı (2022). Zonguldak Bölgesinde Sensör Tabanlı İSG Pilot Uygulamaları.

Ultralytics. (2024). AI in Mining: Computer Vision for Efficiency & Safety. https://www.ultralytics.com/blog/ai-in-the-mining-industry-from-ore-to-optimization

Wang, L., & Zhang, X. (2023). Virtual Reality (VR) in Safety Education: A Case Study of Mining. In Lecture Notes in Computer Science (Vol. 14245, pp. 547–555). Springer. https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-3-031-64312-5_47

World Economic Forum (2021). The Future of Mining with AI: Building a Sustainable Industry.

Zhao, F., & Li, Y. (2021). Deep learning-based damage detection of mining conveyor belt. Measurement, 178. https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0263224121001561

İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİNDE MAKİNE ÖĞRENMESİ ÜZERİNE BİBLİYOMETRİK BİR ANALİZ

A BIBLIOMETRIC ANALYSIS ON MACHINE LEARNING IN OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH

Anıl ÖZIRMAK,
Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İzmir

Mete KUN
Dokuz Eylül Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, İzmir

ÖZ: Hayatımızın her anına nüfus eden yapay zekânın (YZ) alt dallarından biri olan makine öğrenmesinin (ML) İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) alanındaki kullanımına bütüncül bir yaklaşım için bu bibliyometrik analiz çalışması gerçekleştirilmiştir. Araştırmada Scopus ve Web of Science veri tabanlarında yapılan spesifik bir arama sorgusu ile elde edilen 1991 - 2024 yılları arasındaki toplam 364 yayın; yazarlar, kurumlar, ülkeler, anahtar kelimeler ve atıf sayıları gibi veriler bazında analiz edilmiş ve değerlendirilmiştir. Çalışmanın bulgularına göre; İSG alanında ML konusundaki çalışmalar 2017 yılından sonra artış göstermiş ve 2021'den sonra ivmelenmiştir. En fazla atıf alan ülke ABD olurken, makale başına düşen atıf sayısında Arjantin ilk sırada yer almıştır; Türkiye ise en çok atıf alan beşinci ülke konumundadır. Konuyla ilgili en fazla yayın Koç, K. tarafından yapılmış olsa da yazarlar arasındaki iş birliğinde Çinli yazarların ağırlığı dikkat çekmektedir. Ülkelerin bibliyografik eşleşme analizinde ABD liderken; Türkiye dördüncü sırada yer almaktadır. Kurumların iş birliğine bakıldığında ise Asya – Pasifik ülkeleri öne çıkmaktadır. Anahtar kelime analizinde ise "artificial intelligence" , "machine learning" ve "safety" terimleri öne çıkmaktadır. Sonuç olarak, bu bibliyometrik analiz, İSG alanında ML konusundaki bilimsel üretim dinamiklerini ve iş birliği modellerini ortaya koyarak, literatür taraması süreçlerinde yol gösterici bilgiler sunmayı hedeflemiştir.

Anahtar Kelimeler: iş sağlığı ve güvenliği; makine öğrenmesi; yapay zekâ; bibliyometrik analiz

ABSTRACT: *This bibliometric analysis study has been conducted for a holistic approach to the use of machine learning (ML), one of the sub-branches of artificial intelligence (AI), in occupational safety and health (OSH). In this research, 364 publications published between 1991 and 2024 obtained through a*

specific search query in Scopus and Web of Science databases were analyzed and evaluated based on authors, affiliations, countries, keywords and citation counts data. According to the findings, studies on ML in the field of OSH increased after 2017 with a steep acceleration after 2021. While USA is the most cited country, Turkiye ranks as the fifth most cited country. Argentina ranked first in the number of citations per article. Although Koc, K. has the most publications on the research subject, the co-authorship of authors are predominantly led by Chinese authors. In the bibliographic coupling of countries, the USA leads, while Turkiye ranks fourth. When examining the collaboration among affiliations, Asia-Pacific countries draw attention. The terms "artificial intelligence", "machine learning", and "safety" stand out in the keyword analysis. As a result, this bibliometric analysis aims to provide guiding information for literature review processes by revealing scientific production dynamics and collaboration models on ML in the field of OSH.

Keywords: *occupational safety and health; machine learning; artificial intelligence; bibliometric analysis*

1.GİRİŞ

Gün geçtikçe yapay zekânın teknik alanlardan, günlük hayatımıza geçişi hızlanmaktadır. Gündelik görevlerimizde dahi sıkça kullanmaya başladığımız yapay zekâ (YZ) ve ürünlerinin, bugün iş hayatımızda kullanılmaması neredeyse imkânsız hale gelmiştir.

Sanıldığının aksine YZ; saniyeler içerisinde insanoğlunun yapamadığı şeylere çözüm üretmesi anlamına gelen çok akıllı makineler değil, insan gibi davranan makineler anlamına gelmektedir (Joshi, 2020). Makine öğrenmesi (ML); doğal dil işleme, yapay sinir ağları, bulanık mantık gibi farklı YZ disiplinleridir. Bu sebeple YZ birçok dala ayrılan bir ağaca benzetilir (Sharda vd., 2014). ML; bilgisayarı tamamen programlamadan, kendisinden istenen bir davranışı üretmeyi öğrenebilmesini sağlamaktır (Joshi, 2020).

Hızlı ya da yavaş olarak her alana dahil olan yapay zekânın, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) uygulamalarına dahil olmaması düşünülemezdi. Ufak hataların dahi çalışanların hayatını bu denli etkilediği bu alanda, insan kusurunun en aza indirilmesi amacıyla yapılan birçok uygulama vardır. Bunların başında

otomasyon gelmektedir. Ancak otomasyon onlarca yıldır sadece makinelerin önceden programlanması ile gerçekleşebilmektedir. Ancak ML ile, mevcut durumu analiz eden ve buna en uygun reaksiyonu veren programlar mümkündür (Kumar, 2017). Bu sayede işçi sağlığının korunması ve iş güvenliğinin sağlanmasında İş Güvenliği Uzmanları veya işçiler tarafından verilebilecek yanlış karar ve yapılabilecek yanlış hareketler veya bunların sonuçları minimize edilebilir.

Bu çalışmada YZ'nın ve özellikle ML'nin İSG alanında kullanımı araştırılarak, bir bibliyometrik analiz olarak ortaya konmaktadır. Çalışma konusu ile ilgili bir literatür taraması için elbette spesifik bir arama sorgusuna ihtiyaç vardır. Ancak bu spesifik sorguya rağmen karşımıza çıkan yüzlerce veya binlerce çalışmayı okumak imkansızdır. Bu yüzden araştırmacılar çok daha kısa bir sürede bibliyometrik analizler gerçekleştirerek, konu hakkındaki literatüre genel bir çerçeveden bakabilmektedir. Bibliyometrik analizler sayesinde; literatürdeki çalışmalar hızlıca incelenebilmekte ve mevcut çalışmaların durumunu daha rahat kavranabilmektedir. Bu sayede araştırmacılar, gelecek çalışmalarında odaklanabilecekleri alanları daha iyi görmektedir.

Literatürde ML'nin İSG'ye entegre edildiği çalışmalara bakıldığında; görüntü işleme, korelasyon analizi, tahmin modelleri gibi kullanımlar dikkat çekmektedir. Bu yöntemler kullanılarak; kişisel koruyucu donanımların (KKD) doğru kullanımı, sahadaki çalışanların takibi, tehlikeli alanlara olan mesafe tayini, geçmiş iş kazalarının sınıflandırılması, çeşitli iş kollarında ergonominin iyileştirilmesi, yangın halinde tahliye kararı verilmesi gibi farklı alanlarda birçok çalışma gerçekleştirilmiştir. Bunların yanında geçmişte iş sağlığı ve güvenliğine genel bir bakış amaçlı yapılmış bibliyometrik çalışmalar da vardır. Sarkar ve Maiti (2020) 1995 – 2019 arasında yayınlanmış 232 makale ile iş kazalarında ML kullanımını, Mohammadi ve Galera (2023) son on yılda nanomalzemelere mesleki maruziyetin işlendiği 1170 çalışmayı, Li vd. (2024) ameliyathanelerdeki

mesleki maruziyetleri içeren 1973 – 2020 arasında yayınlanan 336 çalışmayı ve Yamaner Kuzeyli ve Özbakır (2024) ise 1990 -2023 yılları arasında inşaat sektöründe iş sağlığı ve güvenliğini konu edinen 377 çalışmayı bibliyometrik olarak analiz etmiştir.

Bibliyometri, 1890'lardan beri kullanılan bir tekniktir (Badola ve Agrawal, 2023). Bir bilimsel araç olarak, bibliyometrik analiz yayınları hem matematiksel hem de istatistiksel bir şekilde analiz etmek için kullanılır (Liu vd., 2022). O zamanlar bibliyometri olarak adlandırılmasa da bu konudaki en eski çalışma 1896 yılına dayanmaktadır (Campbell, 1986). Bu ilk bibliyometrik analiz örneğinden bu yana, yöntem yazarlar, yayın yılı, atıflar, bağlılıklar, anahtar kelimeler, yayınevi vb. gibi toplanan istatistiksel veriler üzerinde matematiksel modeller oluşturmak için sıklıkla uygulanmıştır (Egghe ve Rousseau, 1990). Ayrıca, bu analiz dergiler, kitaplar, konferans kitapları veya raporlar gibi belirli yayınlara odaklanabilir.

2.MALZEME VE YÖNTEM

Bibliyometrik analizlerde, öncelikle tarama yapılmak istenen veri tabanlarına karar verilir. Karar verilen veri tabanlarında gerçekleştirilecek olan aramalar aynı olmak zorundadır. Bu farklı veri tabanlarında karşılaşılan yayınları karşılaştırmak için ortak bir zemin hazırlarken, bibliyometrik analizi gerçekleştirmek için gereken veri tabanlarından indirilen bibliyometrik raporlarının birleştirilmesini de kolaylaştıracaktır. Çünkü bu işlem; analiz gerçekleştirilmeden önceki son adım olarak, veri tabanlarının bibliyometrik raporlarının sağlıklı bir şekilde birleştirilmesi için yüksek önem arz etmektedir.

Çalışma kapsamında, bibliyometrik analiz için Scopus ve Web of Science veri tabanlarında; “machine learning in occupational health and safety” araması gerçekleştirilmiştir. Ancak bu sorgunun daha rafine sonuçlar verebilmesi için mantıksal operatörler ve eş anlamlı sözcükler kullanılmıştır. Buna göre sorgu;

"machine learning" OR "artificial intelligence" OR "ai" AND "occupational health and safety" OR "OSH" OR "OHS" OR "occupational safety and health" olacak şekilde düzenlenmiş ve Title, Abstract ve Keyword'ler içerisinde aratılmıştır. Buna göre; Scopus'ta 349, Web of Science'ta 179 yayınla karşılaşılmıştır. Bu çalışmaların hepsi hakkında bibliyometrik bilgilere ulaşabilmek için iki veri tabanından da uygun formatlarda bibliyometrik raporların indirilmesi gerekmektedir. Bu raporlar; çalışmalar hakkında yazar isimleri, kurumları, ülkeleri, anahtar kelimeler, özetler, yayın isimleri, türleri, yayımlayan dergi isimleri, kullanılan kaynaklar, alınan atıflar vs. gibi detaylı bilgiler içermektedir.

İndirilen raporlar, veri tabanları kaynaklı olarak farklı formatlarda olduğundan, iki veri tabanında da bulunan yayınları birbirleri ile eşlemek zorlaşmakta ve özellikle binlerce çalışma içeren sorgularda bunu manuel olarak yapmak imkansızlaşmaktadır. Bu sebepten dolayı raporların birleştirilmesi için R programlama dili kullanılarak raporlar birleştirilmiş, eşleşmeler gerçekleştirilmiş ve fazla olan girdiler elenmiştir. Daha sonrasında verilerin işlenebilmesi ve özeti için bibliometrix kütüphanesinden biblioshiny çağrılmıştır (Aria ve Cuccurullo, 2017). Çizelgeler ve Şekil 1, Şekil 2 ve Şekil 3 bu paket ile oluşturulmuştur. Diğer şekiller ise R üzerinden yazılan bibliyometrik kodlar vasıtasıyla VOSVIEWER programına çizdirilmiştir (van Eck ve Waltman, 2009).

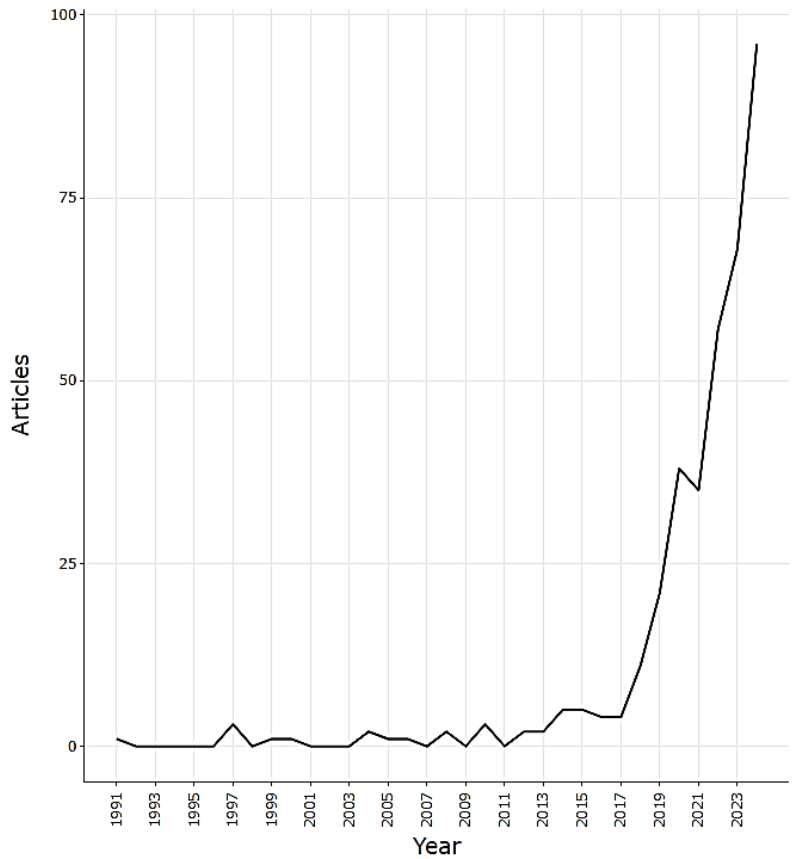
3.BULGULAR VE TARTIŞMA

Araştırmada toplam 364 çalışma elde edilmiştir. Birleştirilmiş rapora dair özet bilgiler yazdırılmış ve Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Birleştirilmiş raporun tanımlayıcı bilgileri

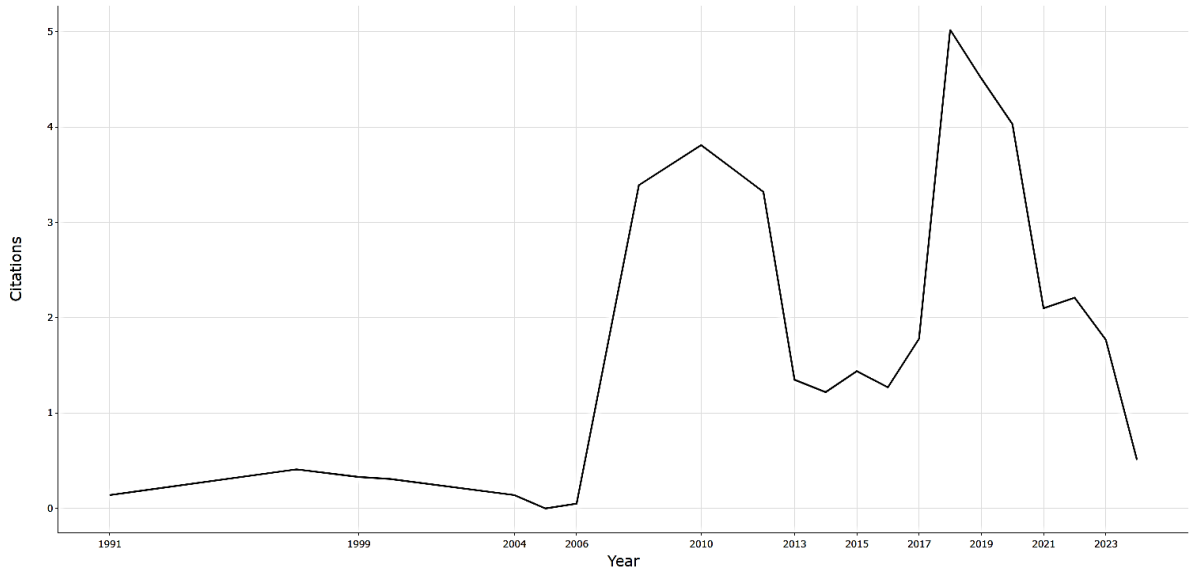
Zaman aralığı	1991 : 2024
Kaynaklar (Dergi, kitap, vs.)	256
Yazarlar	1187
Yayın sayısı	364
Yayınların ortalama yaşı	4,1
Yayın başına ortalama atıf	11,35
Referanslar	14884

Genel anlamlı bir sorgu yapılmış olmasına rağmen; toplamda 364 çalışmaya ulaşılması, araştırılan konu hakkında henüz yeterli sayıda çalışma yapılmamış olduğunu ve çalışmaların popülaritesinin devam ettiğini göstermektedir. Bu şekil 1'de yıllık bilimsel çalışma üretiminde görülmektedir. Şekle göre; konu ile ilgili trend 2017 yılında sonra artışa geçmekte ve 2021 yılından sonra ivmelenmektedir.



Şekil 1. Yıllık bilimsel çalışma üretimi

Buna karşın; yıllık ortalama atıf sayısı, 2006 yılından itibaren yükselişe girmiş, 2017'de ise yapılan çalışma sayısının artmasına paralel olarak artmış ancak 2023 yılı ile düşüşe girmiştir. Bu trend Şekil 2'de görülebilmektedir.



Şekil 2. Yıllık ortalama atıf sayıları

Çizelge 2 yayın türlerini göstermektedir. Buna göre; toplam 196 çalışma makale olarak yayımlanmıştır. Bunu 120 ile konferans bildirileri takip etmektedir.

Çizelge 2. Yayın türleri

Yayın Türü	Sayısı
Makale	196
Kitap bölümü	14
Konferans bildirisi	120
Editoryal	7
Editöre mektup	1
Not	2
İnceleme	24
Total	364

Bu çalışmalardan en çok atıf alan ilk on çalışma, yıllık ortalama atıf sayısı toplamı ve normalize toplam atıf sayılarıyla Çizelge 3'te gösterilmiştir. 297 atıfla

ilk sırada yer alan çalışma, yıl başına 37,13 atıf almayı başarmıştır. Ancak yıl başına en çok atıf alan çalışmalar listesinde ikinci sıradadır. 39,67 atıf ile yıl başına en çok atıf alan çalışma ise toplam atıf sayısında ikinci sıradadır.

Çizelge 3. En çok atıf alan 10 çalışma

#	Yayın	DOI	TA	Yıllık TA	NTA
1	Badri A, 2018, Saf Sci	10.1016/j.sscI.2018.06.012	297	37,13	7,39
2	Nath N, 2020, Automat Constr	10.1016/j.autcon.2020.103085	238	39,67	9,84
3	Fung I, 2010, Int J Proj Manage	10.1016/j.Ijproman.2009.09.006	178	11,13	2,92
4	Howard J, 2019, Am J Ind Med	10.1002/ajIm.23037	174	24,86	5,51
5	Yu Y, 2019, Automat Constr	10.1016/j.autcon.2019.02.020	127	18,14	4,02
6	Cooke T, 2008, Eng Constr Archit Manage	10.1108/09699980810886847	102	5,67	1,67
7	Yuan L, 2020, Meitan Xuebao	10.13225/j.cnkI.jccs.YG19.1790	92	15,33	3,80
8	Tamers S, 2020, Am J Ind Med	10.1002/ajIm.23183	88	14,67	3,64
9	Massirisfernández M, 2020, Comput Ind Eng	10.1016/j.cIe.2020.106816	86	14,33	3,56
10	Patel V, 2022, Adv Intell Syst-Ger	10.1002/aIsy.202100099	85	21,25	9,61

Çalışmalara alınan toplam atıfların ülkelere dağıtılmış halini gösteren tablo ise Çizelge 4'tür. Buna göre toplam 49 ülke arasından en çok atıf alan ülke ABD olurken; makale başına alınan atıf sayısında Arjantin ilk sıradadır. Bu durumun gerçekleşmesinde Arjantin'in diğer ülkelere göre daha az toplam atıf almasına rağmen, çalışma sayısının 1 olması etkili olmuştur. Ülkemiz; çalışmalarına en çok atıf alan 5. ülke konumundadır.

Çizelge 4. Ülkelere göre toplam atıf ve ortalama atıf sayıları

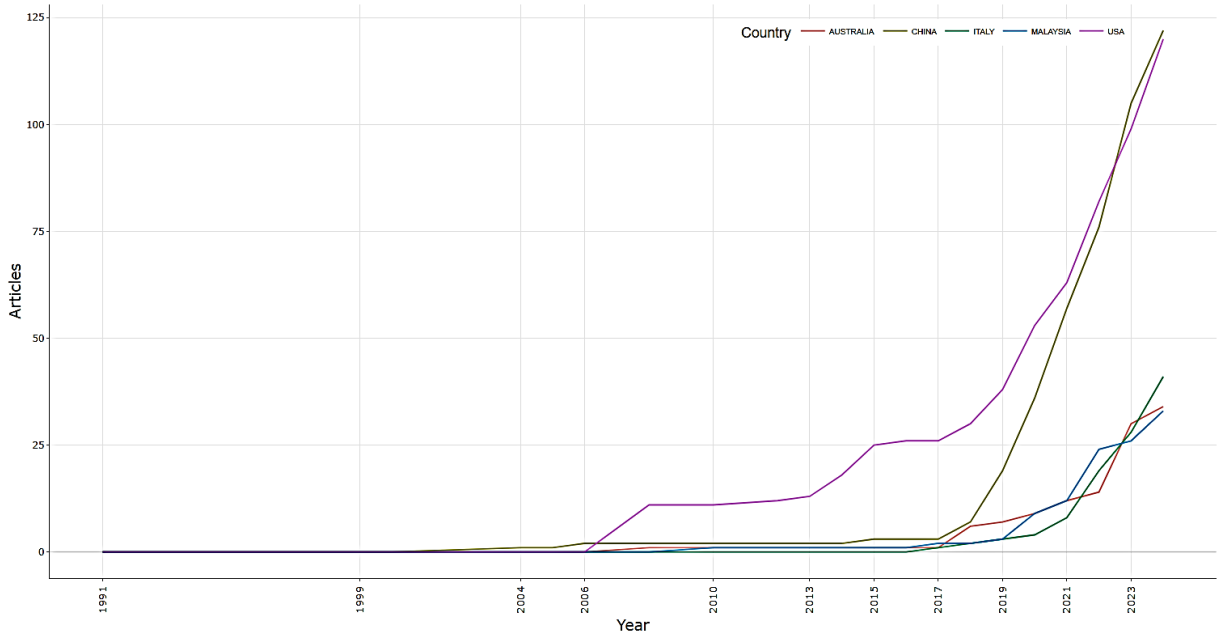
#	Ülke	Toplam Atıf	Yayın Başına Atıf
1	ABD	1146	22,5
2	Çin	745	18,2
3	Avustralya	322	35,8
4	Kanada	309	38,6
5	Türkiye	168	21,0
6	İtalya	123	7,7
7	Hindistan	122	6,1
8	İspanya	102	10,2
9	Malezya	100	12,5
10	Arjantin	86	86,0

Ülkelerin toplam makale sayılarına baktığımızda ise; ABD'nin yine ilk sırada olduğunu ve en çok tek ülkeli yayına sahip olduğu Çizelge 5'te görülmektedir. Bu tablo sadece sorumlu yazarların analizini içermektedir. En fazla çok ülkeli yayına sahip ülke ise; Çin olarak karşımıza çıkmaktadır. Türkiye bu listede 10. sırada yer almakta ve sadece tek yazarlı yayınları bulunmaktadır. Bu da ülkemiz yazarlarının, çalışmalarında yine ülkemizden yazarlarla çalıştığını göstermektedir.

Çizelge 5. Ülkelere göre yayın sayıları

#	Ülke	Yayın	Tek Ülkeli Yayın	Çok Ülkeli Yayın	Çok Ülkeli Yayın Oranı
1	ABD	51	48	3	5,88
2	Çin	41	31	10	24,39
3	Hindistan	20	20	0	0,00
4	İtalya	16	13	3	18,75
5	Almanya	11	10	1	9,09
6	İspanya	10	9	1	10,00
7	Avustralya	9	5	4	44,44
8	Kanada	8	6	2	25,00
9	Malezya	8	4	4	50,00
10	Polonya	8	7	1	12,50
11	Türkiye	8	8	0	0,00

Şekil 3'te, Çizelge 5'te gösterilen ülkelerin 2024 yılı içerisinde en üretken olan ilk beşi gösterilmektedir. ABD diğer tüm ülkelerden çok daha önce İş Sağlığı ve Güvenliği alanında makine öğrenmesi konusunda çalışmaya başlasa da Çin 2022 yılından sonra toplam yayın sayısında ABD'yi geçmiştir.

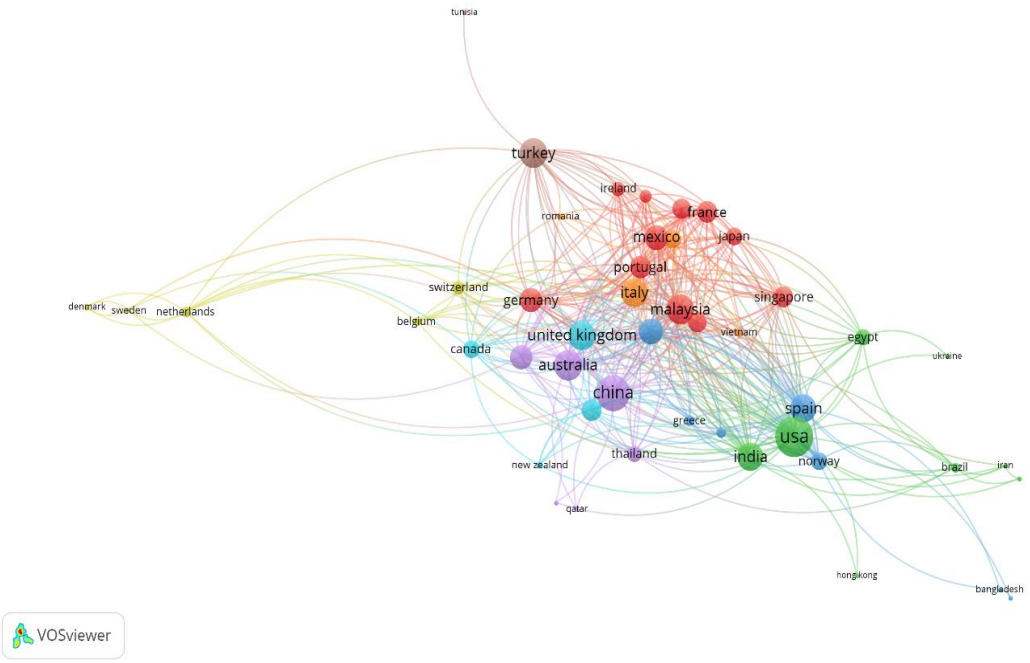


Şekil 3. Ülkelerin yıllara göre üretkenliği

Bibliyografik eşleştirme; iki farklı belgede, aynı kaynağa atıf yapılması esasına dayanmaktadır. Referans listelerinde aynı kaynaklar bulunan iki farklı belge birbirleri ile bibliyografik olarak eşleşmiş denmektedir (Rehn ve Kronman, 2008).

Ülkelerin bibliyografik eşleşmesi ise; farklı iki ülkenin çalışmalarında, farklı aynı ülkenin çalışmalarına atıf vermelerini ifade eder. Şekil 4'te ülkelerin bibliyografik eşleşmesi görünmektedir. Buna göre; diğer kümelerle bağlantısı olmayan 10 ülke elenince geriye 48 ülke kalmaktadır. Aynı renkteki kümelerde bulunan ülkelerin; çalışmalarında aynı ülkelerin çalışmalarına atıfta bulundukları ve dolayısıyla birbirleri arasındaki ilişkilerinin yüksek olduğu

söylenebilmektedir. Bunlar da ülkelerden çıkan bağlantılarla ifade edilmektedir. Türkiye'nin 30 bağlantısı bulunmaktadır ve bu sayede; ABD (41), Çin (36) ve Avustralya'nın (31) ardından 4. büyük düğüm noktasına sahiptir. Özellikle bu ülkelerin çalışmalarında farklı birçok ülkede yapılmış olan aynı çalışmalara yer verdikleri anlaşılmaktadır.



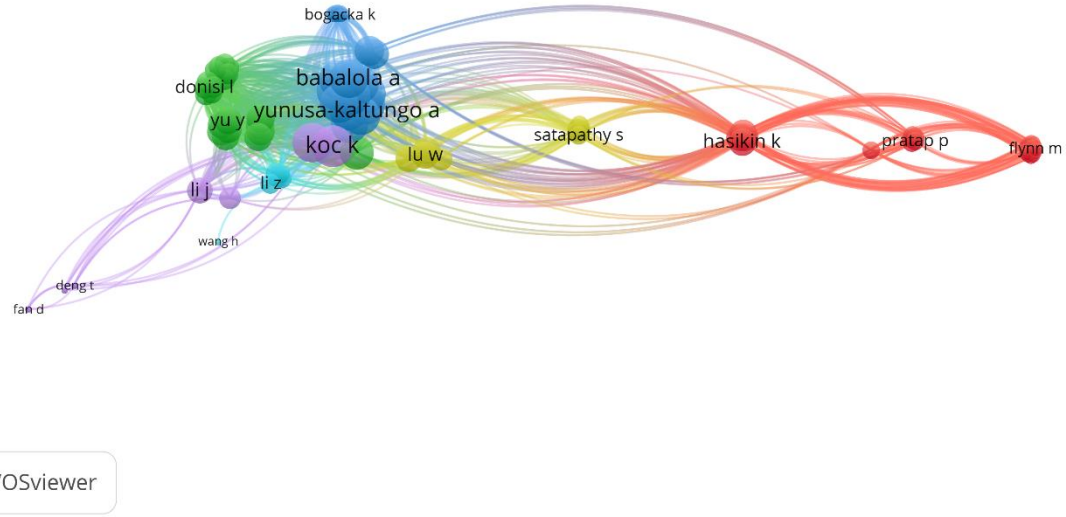
Şekil 4. Ülkelerin bibliyografik eşleşmesi (en az küme genişliği: 2)

Bibliyografik eşleşme; çalışmaları gerçekleştiren yazarlar arasında da analiz edilmektedir. Bunun için; öncelikle yazarlar hakkında genel bilgilerin edinilmesi gerekmektedir. 1271 yazarın yer aldığı bu bibliyometrik çalışmada; sadece 27 yazarın tek yazarlı çalışma yapması dikkat çekmektedir. Aynı zamanda ele alınan 365 çalışmanın 49'u tek yazarlıdır. En çok çalışma yapan 10 yazarın verildiği Çizelge 6'ya göre; Koç, K. toplamda en çok çalışma yapan yazar olmakla beraber, yazar başına düşen makale sayısında da liderdir. Bölünmüş yayın sayısı (article fractionalized) çok yazarlı yayınlarda yazarların katkılarının hesaplandığı bir ölçektir.

Çizelge 6. En çok çalışma yapan 10 yazar

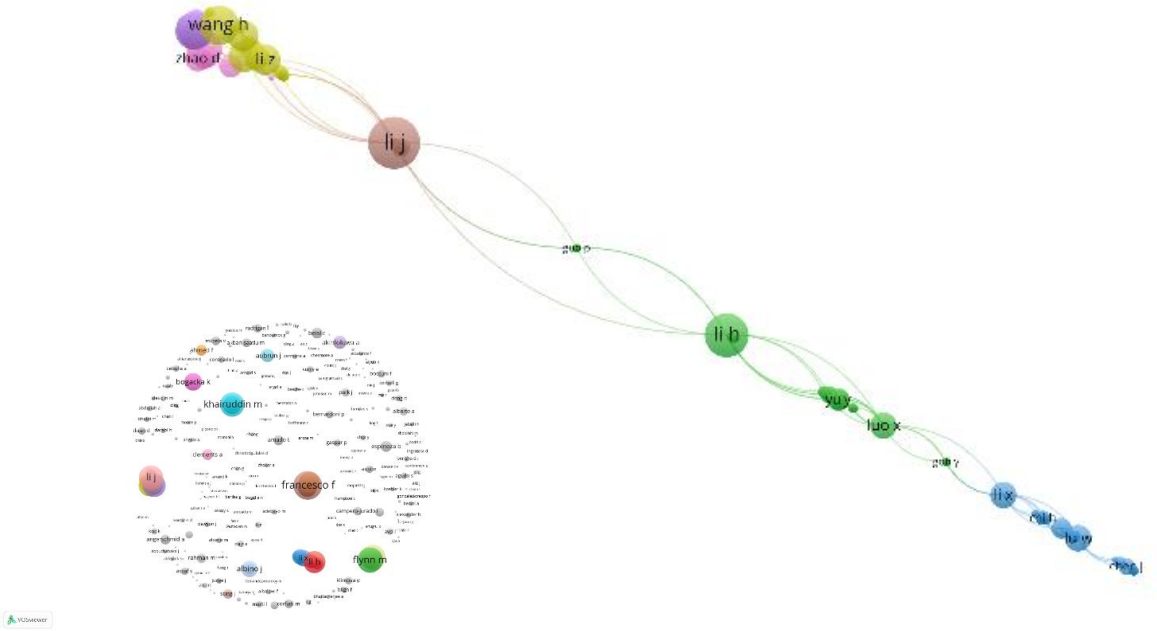
#	Yazar	Yayın	Bölünmüş Yayın Sayısı
1	Koc, K	7	3,08
2	Li, H	6	1,13
3	Li, J	6	1,27
4	Gurgun, A	5	1,83
5	Donisi, L	4	0,60
6	Ekmekcioglu, O	4	1,33
7	Howard, J	4	2,57
8	Lazzerini, B	4	1,67
9	Li, X	4	0,90
10	Pistolesi, F	4	1,67

Yazarların bibliyografik eşleşmesi, tıpkı ülkelerde olduğu gibi; aynı yazarlara atıfta bulunmasını ifade eder. Buna göre Şekil 5'te; çalışmalarında aynı yazarlara atıfta bulunan en yüksek bağlantı sayılı 100 yazarı göstermektedir. Koc, K. 70 bağlantı sayısıyla ilk sırada yer alırken, 67 bağlantılı Gurgun, A. ve 65 bağlantılı Babalola, A., Bartolo, P., ve Gao, A. gibi yazarlar izlemektedir. Birbirlerine yakın olan yazarlar daha çok aynı yazarlara atıfta bulunma eğilimindedir. Dolayısı ile benzer konularda çalışmaları daha olasıdır. Bu yüzden özellikle Türk yazarların isimleri birbirlerine daha yakındır. Yazarlar için yapılan bu analiz, yazarların çalışmaları üzerinden de gerçekleştirilebilmektedir; buna ise, kaynakların bibliyografik eşleşmesi adı verilmektedir.



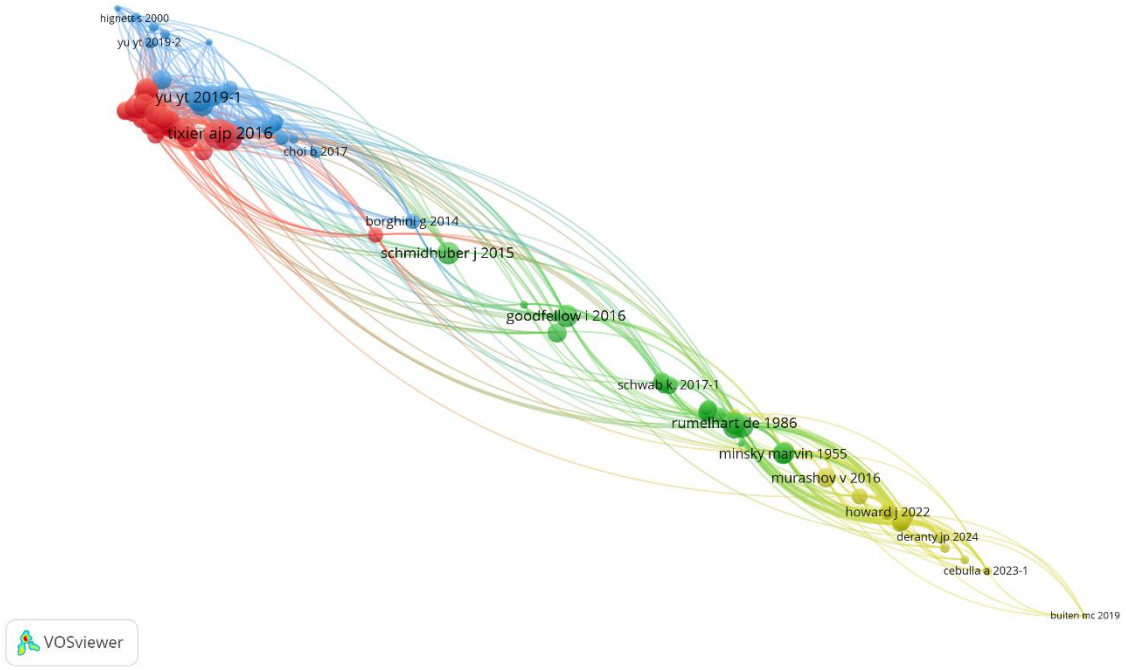
Şekil 5. Yazarların bibliyografik eşleşmesi (en az küme genişliği: 3)

Şekil 6'da yazarlar arası iş birliği gösterilmektedir. Buna göre birbirleri ile en bağlı kümelere odaklanıldığında 132 isim karşımıza çıkmakta ve bunların çoğunluğunun Çinli olması dikkat çekmektedir. Bu da Çinli yazarların genellikle birbirleri ile yayın yaptıkları, diğer ülke yazarları ile az sayıda çalışma yaptıklarını göstermektedir. Li, J. ve Li, H.; sırasıyla 25 ve 21 bağlantı ile en çok iş birliği yapan yazarlardır. En çok yayın yapan Koc, K. bu yazarlara göre daha az sayıda yazarla yayın yaptığından bu kümeler arasında yer almamaktadır.



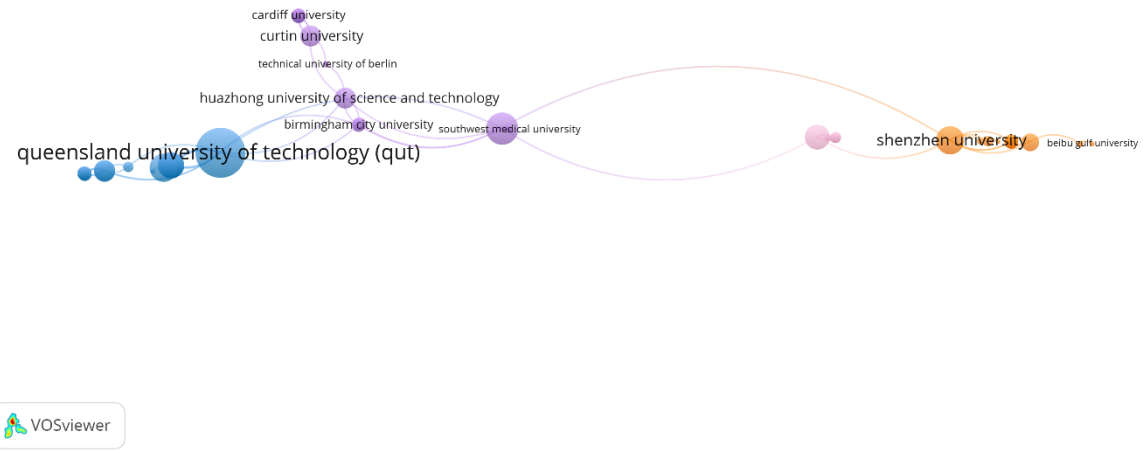
Şekil 6. Yazarlar arası iş birliği analizi görseli (en az küme genişliği: 2)

Ortak atıf analizi iki yazarın hangi çalışmalarda birlikte atıf aldıklarını gösterme fırsatı yaratmaktadır. Bu analiz kaynaklar için gerçekleştirildiğinde ise bu iki yazarın hangi çalışmalarıyla beraber atıf aldıklarını gösterir. Böylece göre birbirine yakın olan düğüm noktaları, kaç tane yayının kaynakçalarında beraber kullanıldıklarını göstermektedir. Kaynakların ortak atıf analizi Şekil 7'de gösterilmiştir. Buna göre Tixier, A. J. P. (2016), Goh, Y. M. (2017), Baker, H. (2020), Choi, J. (2020) ve Mistikoglu, G. (2015) en yüksek bağlantı sayısına sahip yayınlar olarak dikkat çekmektedir.



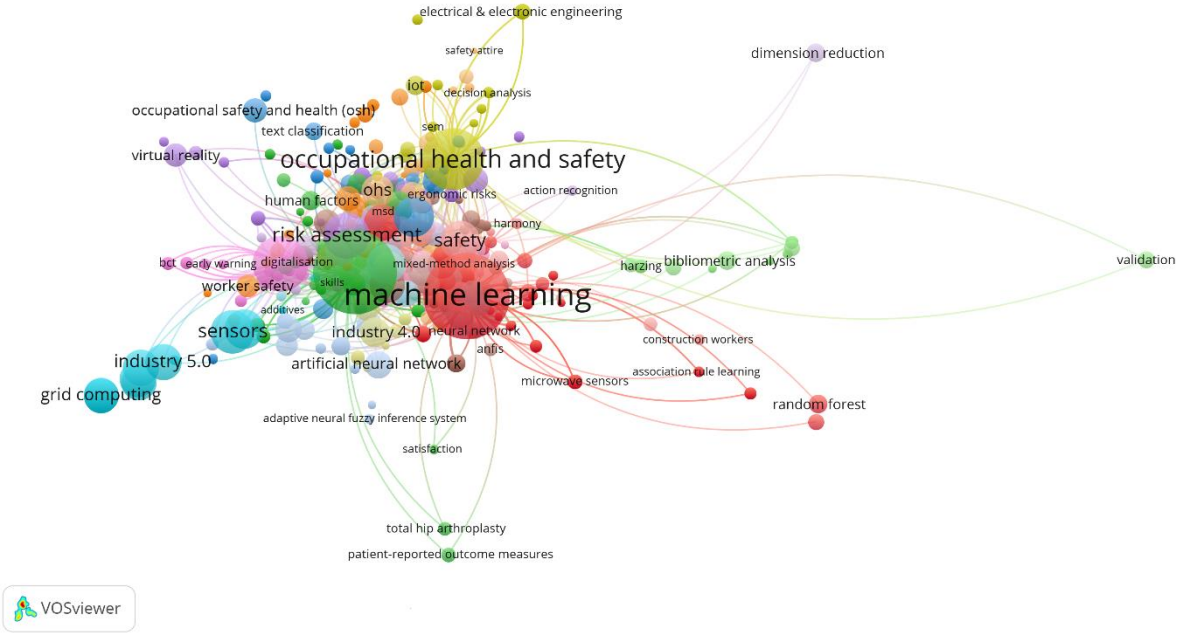
Şekil 7. Kaynakların ortak atıf analizi

Bibliyometrik analizde kullanılan bir diğer analiz ise kurumların birbirleri ile olan iş birliklerinin ifade edilmesine yarar. Şekil 8'de, araştırma kapsamında adı geçen 484 kurumda birbirleri ile bağlantılı olan 44 kurumun iş birliğini gösteren görsel verilmiştir. Buna göre; Queensland University of Technology, Hong Kong Polytechnic University ve Shenzhen University sırasıyla 14, 9 ve 8 ile en çok bağlantıya sahip üniversiteler olarak görülmektedir. Böylece bu üç kurumun diğer kurumlarla güçlü iş birlikleri içerisinde olduğu söylenebilmektedir. Asya-Pasifik kurumlarının daha çok kendi aralarında çalışmalar yapmalarına rağmen Malezya kurumlarının birçok farklı ülkeden kurumlarla iş birliğinde bulunması dikkat çekmektedir. İtalyan kurumlarının ise genellikle kendi aralarında çalışma yaptıkları ortaya çıkmıştır.



Şekil 8. Kurumların iş birliği

Bibliyometrik analizlerden anahtar kelime analizi ise; araştırmalar için en büyük önem arz eden analizlerin başında gelmektedir. Çünkü çalışmalara uygun olarak yapılan sorgulardan elde edilen yayınların kaçının, hangi anahtar kelimelerle yayınlandığı, sadece o çalışma bazında değil, tüm konu hakkında genel bir görüş sağlamaktadır. Şekil 9'da verilen görselde, aynı renge sahip olan kümelerdeki ve birbirlerine yakın konumlanan anahtar kelimelerin birlikte kullanıldıkları ortaya çıkmaktadır. Bununla birlikte toplam 1176 anahtar kelimeden diğerleriyle bağlantısı olmayan 146'sı elenmiştir En çok kullanılan beş anahtar kelime ise; "artificial intelligence", "machine learning", "occupational safety and health", "occupational health and safety" ve "safety"dir. Ayrıca "ergonomics" ve "construction safety" anahtar kelimeleri de ilk onda yer almaktadır.



Şekil 9. Anahtar kelime analizi

4.SONUÇLAR

Bibliyometrik analizler sayesinde, araştırmaya uygun olmayan yayınların literatür taraması süreçlerini yavaşlatmasının önüne geçilmekle beraber, arama sorguları hakkında genel bir bakış atılmasına izin verir. Aynı zamanda konu ile ilgili en verimli yazarları, en çok atıf alan yayınları, en etkin kurumları ve ülkeleri görselleştirerek ortaya çıkarır. Bu sayede konuya daha uygun olan yayınlar süzgeçten geçirilerek literatür taraması sürecinde sadece gerekli yayınların araştırılmasını sağlar. İş sağlığı ve güvenliğinde makine öğrenmesi konusunda 1991 – 2024 yılları arasındaki 364 yayın bibliyometrik olarak analiz edilmiştir. Buna göre; 2017 yılından itibaren ilgili alanda yapılan çalışmaların sayısı artmış, 2021'den sonra ise büyük bir ivmelenme gözlemlenmiştir. ABD en fazla atıf alan ülke olarak öne çıkarken, makale başına düşen atıf sayısında Arjantin ilk sıradadır. Türkiye, en çok atıf alan beşinci ülke konumundadır. Konuyla ilgili en çok atıf alan çalışma Badri, A. (2018) iken; yıl başına en çok ortalama atıf alan yayın Nath, N. (2020) olmuştur. 1271 yazar arasında en fazla çalışmayı Koç, K. yapmıştır.

Ancak yazarların bibliyografik eşleştirmesinde ilk sırada yer alsa da yazarlar arasında en sıkı iş birliğine sahip olanların çoğunlukla Çinli yazarlar olduğu göze çarpmaktadır.

58 ülke arasında bibliyografik eşleştirme analizine göre Türkiye, toplam 30 bağlantı ile dördüncü sırada yer almaktadır. Bu durum özellikle Türk araştırmacılar arasında güçlü bağlantılar olduğunu göstermektedir. Bu analizde yine başı ABD çekmektedir ve bibliyografik eşleşmede en yüksek bağlantı sayısına sahiptir.

Kaynakların ortak atıf analizinde Tixier, A. J. P. (2016) en yüksek bağlantı sayısına sahip kaynak olarak öne çıkmıştır. Mistikoglu, G. (2015) yayını bu analizde dördüncü sıradadır. İlgili alanda bu çalışmalara sıkça atıf verildiği ve temel kaynaklar arasında yer aldığı görülmektedir.

484 kurumdan en fazla iş birliği yapan; 14 bağlantı ile Queensland University of Technology'dir. Ayrıca, Çinli yazarların büyük ölçüde kendi aralarında çalıştığı, Asya-Pasifik kurumlarının ise bölgesel iş birliğinin yüksek olduğu ortaya çıkmıştır.

Anahtar kelime analizi ise, 1176 anahtar kelimeden özellikle "artificial intelligence", "machine learning" ve "safety" gibi terimlerin sıkça birlikte kullanıldığını göstermektedir.

Bu analizler, bilimsel üretim dinamikleri ve farklı araştırma alanlarındaki iş birliği modellerine dair önemli içgörüler sunmaktadır. Ayrıca özelleştirilmiş araştırma konularındaki en etkili çalışmaları belirlemek ve bu çalışmaların hangi konularda yoğunlaştığını anlamak açısından yardımcı olmaktadır. Bibliyometrik analizler, bilimsel çalışmaların başlangıç aşamalarında yol gösterici, literatür taraması süreçlerinde ise zaman kazandırıcı uygulamalar olarak kullanılabilir.

KAYNAKLAR

Aria, M., & Cuccurullo, C. (2017). bibliometrix: An R-tool for comprehensive science mapping analysis. Journal of Informetrics, 11(4), 959-975.

Badola, A., & Agrawal, R. K. (2023). Forty-five years of International Journal of Intercultural Relations: A bibliometric analysis. International Journal of Intercultural Relations, 94, 101785. https://doi.org/10.1016/J.IJINTREL.2023.101785

Campbell, F. (1986). The theory of national and international bibliography. With special reference to the introduction of system in the record of modern literature. Library Bureau.

Egghe, L., & Rousseau, R. (1990). Introduction to Informetrics. Qantitative Methods in Library. Documentation and Information Science.

Joshi, A. V. (2020). Machine Learning and Artificial Intelligence. Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-030-26622-6

Kumar, R. (2017). Machine Learning-Basics. Içinde Machine Learning and Cognition in Enterprises (ss. 51-64). Springer Link. https://doi.org/10.1007/978-1-4842-3069-5_4

Li, C., Geng, M., Li, S., Li, X., Li, H., Yuan, H., & Liu, F. (2024). Bibliometric analysis of occupational exposure in operating room from 1973 to 2022. Journal of Occupational Medicine and Toxicology , 19(1). https://doi.org/10.1186/s12995-024-00437-2

Liu, F. H., Yu, C. H., & Chang, Y. C. (2022). Bibliometric analysis of articles published in journal of dental sciences from 2009 to 2020. Journal of Dental Sciences, 17(1), 642-646. https://doi.org/10.1016/J.JDS.2021.08.002

Mohammadi, P., & Galera, A. (2023). Occupational exposure to nanomaterials: A bibliometric study of publications over the last decade. International Journal of Hygiene and Environmental Health, 249. https://doi.org/10.1016/j.ijheh.2023.114132

Rehn, C., & Kronman, U. (2008). Bibliometric handbook for Karolinska Institutet. https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1480.9447

Sarkar, S., & Maiti, J. (2020). Machine learning in occupational accident analysis: A review using science mapping approach with citation network analysis. Safety Science, 131. https://doi.org/10.1016/j.ssci.2020.104900

Sharda, R., Delen, D., & Turban, E. (2014). Business intelligence and analytics: systems for decision support. Pearson.

van Eck, N. J., & Waltman, L. (2009). Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. Scientometrics, 84(2), 523-538. https://doi.org/10.1007/S11192-009-0146-3

Yamaner Kuzeyli, E. D., & Özbakır, O. (2024). Bibliometric Analysis of Occupational Health and Safety Research in the Construction Industry: Worldwide Trends and Key Focal Points (1990-2023). Düzce Üniversitesi Bilim ve Teknoloji Dergisi, 12(3), 1771-1788. https://doi.org/10.29130/dubited.1340700

AHŞAP TAHKİMATLARIN DEFORMASYON VE GÜVENLİK RİSKLERİNİN FİNE-KİNNEY YÖNTEMİ İLE ANALİZİ

ANALYSIS OF DEFORMATION AND SAFETY RISKS OF WOODEN SUPPORTS USING THE FINE-KINNEY METHOD

Tuncay Şahin
Umut Ortak Sağlık Güvenlik Birimi, İş Güvenliği Uzmanı, Afyonkarahisar

Oğuzhan Öz, Erkan Özkan
Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

ÖZ: Kömür madenciliğinde maliyet etkinliği ve tedarik kolaylığı nedeniyle yaygın olarak başvurulan ahşap tahkimat sistemleri, maden işletmelerinin doğasındaki dinamik koşullar altında önemli iş sağlığı ve güvenliği riskleri barındırmaktadır. Artan basınçlar, titreşimler ve kaya kütlesi hareketleri gibi etkenler, ahşap tahkimatlarda zamanla yük taşıma kapasitesinde azalma, eğilme, çatlama ve kırılma gibi deformasyonlara neden olmaktadır. Bu yapısal zafiyetler, tavan ve yan duvar göçükleri başta olmak üzere ciddi kaza potansiyelleri yaratmaktadır. Bu risklerin sistematik bir yaklaşımla yönetilmesi amacıyla, tehlikelerin olasılık ve şiddetini temel alarak önceliklendirme sağlayan Fine-Kinney risk değerlendirme metodu kullanılmıştır. Bu metodoloji aracılığıyla, deformasyonların hangi maden bölgelerinde daha sık ve şiddetli beklendiği analiz edilmiş ve bu kritik bölgeler için spesifik önleyici tedbirler tanımlanmıştır. Belirlenen bu mühendislik ve idari önlemlerin hayata geçirilmesiyle, ahşap tahkimat deformasyonlarından kaynaklanan tehlikelerin etkin bir şekilde azaltılması ve maden sahasında daha güvenli bir çalışma ortamının tesis edilmesi hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: Kömür Madenciliği, Ahşap Tahkimat Sistemleri, Risk Değerlendirmesi, Fine-Kinney Yöntemi.

ABSTRACT: *Wooden support systems, widely utilized in coal mining owing to their cost-effectiveness and ease of procurement, present significant Occupational Health and Safety (OHS) risks under the dynamic conditions inherent to mining operations. Factors such as increased pressures, vibrations, and rock mass movements lead to deformations in wooden supports over time, including decreased load-bearing capacity, bending, cracking, and fracturing. These structural vulnerabilities create a significant potential for serious accidents, particularly roof falls and sidewall collapses. To systematically manage these risks, the Fine-Kinney risk assessment methodology, which enables prioritization*

based on the probability and severity of hazards, has been employed. Through this methodology, an analysis was conducted to identify mine sections where deformations are anticipated with higher frequency and severity, and specific preventive measures have been defined for these critical zones. The implementation of these identified engineering and administrative controls aims to effectively mitigate the hazards arising from wooden support deformations, thereby establishing a safer working environment within the mine.

Keywords: *Coal Mining, Wooden Support Systems, Risk Assessment, Fine-Kinney Method.*

1. YERALTI AHŞAP DESTEK SİSTEMLERİ

Küresel enerji üretiminde önemli bir paya sahip olan kömür madenciliği, temel endüstriyel faaliyet alanlarından biridir. Ancak bu sektör, yürütülen yeraltı operasyonlarının doğası gereği, yapısal olarak yüksek risk faktörleri barındıran bir çalışma ortamı sunmaktadır. Bu zorlu ortamda, yeraltı madencilik faaliyetlerinde kullanılan ahşap tahkimat sistemleri, faaliyet sahaların yapısal bütünlüğünün ve iş güvenliğinin sağlanmasında kritik bir rol üstlenmektedir. Tarihsel olarak kolay tedarik edilebilirliği, işlenebilirliği ve uygulama kolaylığı gibi avantajları nedeniyle öncelikli olarak tercih edilen ahşap, günümüzde de ekonomikliği ve pratikliği sayesinde yaygınlığını korumaktadır. Ahşap tahkimatların yapısal performansı, özellikle maruz kaldıkları dış yükler altındaki davranışları, yeraltı açıklıklarının genel duraylılığını doğrudan etkilemektedir (Rahiminejad vd., 2024; Julian vd., 2023; Li vd., 2021). Nitekim, Yerleşik Ahşap Tavan gibi uygulamalar, ahşabın örtü yükü gerilmelerini etkin bir şekilde yöneterek yapısal duraylılığa katkısını tarihsel olarak da göstermiştir (Chung vd., 2012).

Bununla birlikte, ahşap tahkimatların kullanımı önemli zorlukları ve riskleri de beraberinde getirmektedir. Bu sistemler, maden ortamının basınç değişimleri, titreşimler ve kaya kütlesi hareketleri gibi dinamik koşullarına karşı yapısal hassasiyet göstermekte, zamanla deformasyona uğrayarak (yük taşıma kapasitesinde azalma, eğilme, kırılma vb.) tavan/yan duvar göçükleri ve çalışan

yaralanmaları gibi ciddi iş sağlığı ve güvenliği riskleri oluşturabilmektedir. Ayrıca, düzenli bakım eksikliği durumunda biyolojik bozunma (çürüme) ve lokal gerilme yığılmaları, tahkimatın dayanımını azaltarak kaza riskini artırmaktadır (Fuchs vd., 2024; Rahiminejad vd., 2024; Andrews vd., 2020). Operasyonel zorluklar açısından ise, yoğun manuel iş gücü gerektiren kurulum süreçlerinde çalışanlarda gözlenen yüksek kas-iskelet sistemi rahatsızlıklarına neden olabilir ve bu doğrultuda ergonomik tasarım ilkelerine göre sistemler tasarlanmalıdır (Ijaz vd., 2020).

Bu riskleri yönetmek ve tahkimat bütünlüğünü takip etmek adına, tahkimat teknolojilerindeki ilerlemelerle birlikte kablosuz sensör ağları gibi modern izleme sistemlerinin tahkimatlara entegrasyonu yaygınlaşmaktadır (Zhang vd., 2014). Bu sistemler, tahkimatların durumu hakkında gerçek zamanlı veri sağlayarak proaktif bakım ve müdahalelere olanak tanımakta, böylece dinamik etkiler veya malzeme bozunmasından kaynaklı sorunların erken teşhisini kolaylaştırmaktadır (Sun vd., 2022).

Bahsedilen riskler, zorluklar ve teknolojik gelişmeler çerçevesinde, yeraltı kömür madenciliğinde ahşap tahkimat kaynaklı risklerin etkin yönetimi büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda yürütülen çalışmada, kömür madenciliğinde kullanılan ahşap tahkimat sistemlerinin maruz kaldığı deformasyon kaynaklı riskler detaylı bir şekilde incelenmiş ve bu risklerin yönetimi için olasılık, frekans ve şiddet parametrelerini temel alan Fine-Kinney risk değerlendirme metodolojisi uygulanmıştır. Fine-Kinney yöntemi, özellikle deformasyon riskinin yüksek olduğu bölgelerde periyodik kontrollerin planlanması ve gerekli önleyici/düzeltici mühendislik tedbirlerinin belirlenmesi sürecine rehberlik etmektedir. Bu çalışmanın temel amacı, söz konusu metodolojiyi kullanarak ahşap tahkimatların deformasyondan kaynaklanan tehlikelerini minimize edecek ve böylece daha güvenli bir çalışma ortamı tesis edilmesine katkı sağlayacak önlemleri sistematik olarak tanımlamaktır.

2. FİNE-KİNNEY METODU

Fine-Kinney risk analiz yöntemi, yeraltı madencilik faaliyetlerinde işçiler için önemli riskler oluşturan tehlikelerin değerlendirilmesi ve güvenlik önlemlerinin geliştirilmesi açısından kritik bir araç olarak öne çıkmaktadır. Bu yöntem, çeşitli madencilik faaliyetleriyle ilişkili riskleri değerlendirmek için sistematik ve nicel bir çerçeve sunmaktadır. Aynı zamanda, bu riskleri azaltmaya yönelik eylemlerin önceliklendirilmesini de kolaylaştırmaktadır. Fine-Kinney yöntemi, özellikle iş sağlığı ve güvenliği sektörlerinde yaygın olarak kullanılmaktadır (Baç & Ekmekçi, 2021; Satıcı & Mete, 2024; Özbakır, 2024). Bu yaklaşım, risklerin etkili bir şekilde önceliklendirilmesini sağlar ve kuruluşların belirlenen tehlikelere karşı gerekli güvenlik önlemlerini uygulamasına yardımcı olur. Yeraltı madencilik gibi yüksek riskli ortamlarda, bu yöntem güvenlik yönetimini güçlendirmek için önemli bir araçtır (Pajić & Andrejić, 2023; Tüylü ve ark., 2024; Karahan & Aydoğmuş, 2023). Fine-Kinney yöntemi, tavan göçükleri, gaz sızıntıları ve ekipman arızaları gibi yeraltı madencilik ortamına özgü tehlikelerin değerlendirilmesinde etkili bir şekilde kullanılmaktadır. Örneğin; Prusek ve arkadaşlarının çalışması, uzun ayaklı kömür madenlerinde tavan göçme risklerinin değerlendirilmesinin önemini vurgulamaktadır. Bu tür olayların risklerini değerlendirmek için ampirik yöntemler ve uzman tekniklerin bir kombinasyonu kullanılmaktadır (Prusek ve ark., 2016). Fine-Kinney yöntemi, risk puanlarını belirlemek için olasılık (P), maruziyet sıklığı (F) ve sonuç (C) değerlerini kullanır.

Ayrıca, gelişmiş teknolojilerin Fine-Kinney yöntemine entegrasyonu, yeraltı madencilik operasyonlarında bu yöntemin uygulanabilirliğini arttırmıştır. Örneğin, kablosuz sensör ağları, yeraltı kömür madenciliği ortamlarında koşulları sürekli izlemek ve yangın, patlama riskleri ile gaz sızıntıları gibi potansiyel tehlikeleri tespit etmek için kullanılmaktadır. Bu tür gerçek zamanlı veriler, Fine-Kinney yöntemine önemli katkılar sağlayarak, risk değerlendirmesini daha duyarlı ve etkili bir hale getirmektedir (Basu ve ark., 2019; Grychowski, 2014).

Yeraltı madenciliği, diğer madencilik alanlarına kıyasla daha yüksek derecede mesleki yaralanma oranlarına sahiptir. Chimamise ve arkadaşlarının yaptığı araştırmalar, bu sektörde titiz risk değerlendirmesi ihtiyacını açıkça ortaya koymaktadır. Fine-Kinney yöntemi, operatörlerin bu riskleri yalnızca tanımlamasına değil, aynı zamanda bu riskleri ele almak için proaktif önlemler almasına da olanak tanımaktadır. Bu durum, tehlikeli çalışma ortamlarında güvenliği teşvik etme açısından yöntemin önemini daha da arttırmaktadır (Chimamise ve ark., 2013).

Fine-Kinney risk analiz yöntemi, yeraltı madencilik faaliyetlerinde ilişkili riskleri değerlendirmek ve yönetmek için sağlam bir çerçeve sunmaktadır. Teknolojik gelişmelerin ve işbirlikçi metodolojilerin bu yönteme entegre edilebilmesi, uygulama alanını genişletmekte ve mesleki tehlikelerin etkili bir şekilde azaltılmasını sağlamaktadır. Bu sayede, işçi güvenliği arttırılmakta ve daha güvenli bir çalışma ortamı oluşturulmaktadır.

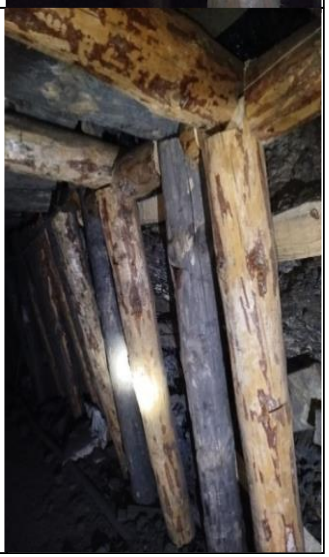
3. AHŞAP TAHKİMAT SİSTEMLERİNİN RİSK DEĞERLENDİRMESİ

Yeraltı kömür madenciliğinde kullanılan tahkimat sistemlerinin güvenlik ve verimlilik açısından önem taşıyan birçok faktörü, günümüze kadar ki yapılan çalışmalarda ortaya konmuştur. Fine-Kinney metodu ile tahkimat sistemlerinin seçimi, kurulumu ve bakımı sırasında dikkat edilmesi gereken kritik unsurları belirlenmiş ve analiz edilmiştir. Ayrıca, tahkimat sistemlerindeki riskler ve bu risklere yönelik alınması gereken önlemler detaylı bir şekilde değerlendirilerek Çizelge 1'de gösterilmiştir.

Çizelge 1. Ahşap tahkimat risk değerlendirmesi

Hatalı Durum	Tehlikeli Durum/Hareket	Etkilenme Şekli	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Alınması Gereken Önlemler	Doğru İşlem Uygulaması
	Yetersiz ayak tahkimat sistemi nedeniyle sarma direkleri ve boyunduruklar gerilmeye karşı direncini kaybetmiş durumdadır. Sarma direklerindeki deformasyon ve stabilite kaybı nedeniyle tahkimatın çökmesi.	Göçük oluşması veya kavlak düşmesi sonucu yaralanma, uzuv kaybı	**6**	**2**	**40**	**480**	Domuzdamı kurulumu gerçekleştirililerek tahkimat sistemi uygun şekilde güçlendirilmelidir.	
	Sayıca yetersiz ve taşıma kapasitesi düşük tahkimat kullanılması sonucunda oluşan çatlaklar ve kaymaların göçmeye yol açması.	Tahkimatın hasar görmesi sonucu kavlak düşmesi yaralanma	**6**	**2**	**15**	**180**	Yetersiz ve taşıma kapasitesi düşük tahkimatlar derhal sökülerek yerine mühendislik hesaplarına uygun, yeterli sayıda ve dayanıklı malzemeden yapılmış tahkimatlar yerleştirilmelidir.	

Çizelge 1 (Devamı). Ahşap tahkimat risk değerlendirmesi

Hatalı Durum	Tehlikeli Durum/Hareket	Etkilenme Şekli	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Alınması Gereken Önlemler	Doğru İşlem Uygulaması
	Boyundurukta meydana gelen kırılma, tahkimatın taşıma kapasitesini azaltarak göçük oluşmasına yol açması	Tahkimatın hasar görmesi sonucu kavlak düşmesi sonucu yaralanma	**6**	**2**	**15**	**180**	Kırılmış boyunduruk, sağlam ve uygun bir malzeme ile değiştirilerek tahkimatın genel stabilitesi desteklenerek korunmalıdır.	
	Kalın boyunduruk ve ince direk kullanımı yük dağılımını bozarak direk kırılmalarının oluşması. Bağların zamanla gerilmeye maruz kalması sonucu direklerinin ve boyunduruklarının kırılması, bağ arkasında kamaların gevşemesiyle görevini yitirmesi ile yan kayaçta kavlak oluşumu ve parçalanma	Göçük oluşması veya Kavlak düşmesi sonucu yaralanma	**6**	**2**	**15**	**180**	Kullanılacak direkler ve boyundurukların kalınlıları bir birine uyumlu olmalı, bölgedeki gerilmelere dayanacak şekilde seçilmeli, özelliğini yitirmiş ahşap tahkimat malzemeler değiştirilmeli, bağlar uygun şekilde kamalanmalı ve arkasındaki boşluklar uygun ahşap tahkimat malzemeleri ile dolgusu yapılmalı, bağ arasında eksik ve yetersiz fırçalar tamamlanmalıdır.	

Çizelge 1 (Devamı). Ahşap tahkimat risk değerlendirmesi

Hatalı Durum	Tehlikeli Durum/Hareket	Etkilenme Şekli	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Alınması Gereken Önlemler	Doğru İşlem Uygulaması
	Bağların zamanla gerilmeye maruz kalması sonucu direklerinin kırılması ve bağ arkasında kamaların gevşemesiyle görevini yitirmesi, yan kayaçta yan kayaçta kavlak oluşumu ve parçalanma	Göçük oluşması veya Kavlak düşmesi sonucu yaralanma	**6**	**1**	**15**	**90**	Özelliğini yitirmiş ahşap tahkimat malzemeler değiştirilmeli, bağlar uygun şekilde kamalanmalı ve arkasındaki boşluklar uygun ahşap tahkimat malzemeleri ile dolgusu yapılmalı, bağ arasında eksik ve yetersiz fırçalar tamamlanmalı, bağ sıkıştırılmalı ve klavuza uygun hale getirilerek tamirat tamamlanmalı, bütün bağ tahkimat sistemlerinin tamiratı sonrasında kilit takviyesi yapılmalıdır.	
	Kurt ağız çintisinin düzgün açılmaması sonucu işlevini kaybetmesi	Tahkimatın hasar görmesi sonucu kavlak düşmesi sonucu yaralanma	**3**	**2**	**15**	**90**	Direklerin kalınlıkları, uygulanacağı bölgeye uygun şekilde seçilmeli, direk çintileri kurtağzı açılırken kurtağzı çok geniş, çok dar, çok derin ve çok sivri açılmamalı, kurtağzı sarmayı tam olarak kavramalıdır	

Çizelge 1 (Devamı). Ahşap tahkimat risk değerlendirmesi

Hatalı Durum	Tehlikeli Durum/Hareket	Etkilenme Şekli	Olasılık	Frekans	Şiddet	Sonuç	Alınması Gereken Önlemler	Doğru İşlem Uygulaması
	Ahşap tahkimatın nem ve rutubetli ortama uzun süre maruz kalması sonucu ahşapta çürüme ve zayıflık oluşması	Sağlık sorunları, yaralanma	3	1	15	45	Nem ve rutubete maruz kalmış ahşap tahkimat sisteminin dayanım özelliğini yitirmeden değişimi yapılmalı ve tahkimat sistemi eksiksiz tamamlanmalıdır.	
	Bağlantı noktalarındaki çintilerin düzgün oturtulmaması sonucu trapez bağlar en düşük gerilim etkisinde dahi çintilerden çatlama, kırılma, kayma gibi olumsuzlukların oluşması	Tahkimatın hasar görmesi sonucu kavlak düşmesi sonucu yaralanma	3	1	15	45	Bağlantı noktalarındaki çintiler kusursuz şekilde oturtulmalıdır.	
	Kılavuz bacalarda tahkimat sisteminde kullanılan malzemelerde eksiklik bulunmakta, bazı trapez bağların üstlerinde ve yanlarında kama ve aralarında fırçaların eksik yada yetersiz olması	Göçük oluşması veya kavlak düşmesi sonucu yaralanma, uzuv kaybı	3	2	7	42	Trapez bağların tahkimatında bağların üstlerinde eksik olan kama ve aralarındaki fırçalar tamamlanmalıdır.	

4. SONUÇLAR

Ahşap destek sistemleri, yeraltı ortamlarının yapısal bütünlüğünü sağlamak için vazgeçilmezdir ve maliyet etkinliği ile çok yönlülük gibi avantajlar sunar. Ancak, bu sistemlerin güvenli ve sürdürülebilir kullanımı için mühendislik ve teknolojideki gelişmelerin entegrasyonu ve çevresel faktörlerin dikkatli bir şekilde değerlendirilmesi gerekmektedir. Ahşap tahkimatların su geliri, gevşek zemin ve eski imalat alanları gibi faktörlere karşı hassasiyet taşıdığı belirlenmiş ve bu risklerin Fine-Kinney yöntemi ile analiz edilmesi, risklerin önceliklendirilmesi ve etkili önlemlerin alınması açısından önemli görülmüştür.

Fine-Kinney yöntemi, yeraltı madenciliğinde kullanılan tahkimat sistemlerinin risklerini değerlendirmek için detaylı bir şekilde analiz edilmesini sağlar. Bu yöntem, risklerin önceliklendirilmesine ve bu doğrultuda etkili önlemlerin alınmasına rehberlik eder. Fine-Kinney yöntemiyle yapılan değerlendirmeler neticesinde, ahşap tahkimatların düzenli bakımının yapılması, izleme teknolojilerinin entegrasyonu ve çalışanların eğitimi gibi önlemler önerilmektedir. Bu yöntem, risklerin sistematik bir şekilde analiz edilmesi sayesinde, kazaların önlenmesi ve tahkimat sistemlerinin güvenliğinin artırılması için kritik bir araç olarak öne çıkmaktadır.

Doğru kurulum, düzenli bakım ve çalışanların eğitimi, bu sistemlerin güvenliğini arttırırken, insan hatasından kaynaklanan riskleri minimize etmektedir. Ayrıca, jeolojik koşullara uygun tahkimat seçimi ve yük dağılımı hesaplarının tasarım sürecinde yapılması, deformasyon ve göçük risklerini azaltmaktadır. Sonuç olarak, ahşap tahkimat sistemlerinin etkin risk değerlendirme süreçleri oluşturulması iş sağlığı ve güvenliği standartlarının belirlenmesinde büyük önem taşımaktadır.

KAYNAKLAR

Andrews, B., Cumberpatch, Z., Shipton, Z., & Lord, R. (2020). A Sedimentological Approach for Classifying Sub-Surface Mine Wastes: Implications for Shallow Mine Geothermal Energy. https://doi.org/10.31223/osf.io/hynzc

Basu, S., Pramanik, S., Dey, S., Panigrahi, G., & Jana, D. (2019). Fire Monitoring in Coal Mines Using Wireless Underground Sensor Network And Interval Type-2 Fuzzy Logic Controller. International Journal of Coal Science & Technology, 6(2), 274-285. https://doi.org/10.1007/s40789-019-0244-7

Baç, N. & Ekmekçi, İ. (2021). Psychosocial Risk Assessment Using Copsoq II Questionnaire - A Case Study With Maintenance Workers in A Metal Plant in İstanbul Turkey. Heliyon, 7(4), e06777. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e06777

Chimamise, C., Gombe, N., Tshimanga, M., Chadambuka, A., Shambira, G., & Chimusoro, A. (2013). Factors Associated With Severe Occupational Injuries at Mining Company in Zimbabwe, 2010: A Cross-Sectional Study. Pan African Medical Journal, 14. https://doi.org/10.11604/pamj.2013.14.5.1148

Chung, K., Lee, W., Lee, S., & Bang, M. (2012). A Safety Analysis Of The Btr Method by Construction Sequence. Journal of the Korea Safety Management and Science, 14(1), 101-108. https://doi.org/10.12812/ksms.2012.14.1.101

Grychowski, T. (2014). Multi Sensor Fire Hazard Monitoring in Underground Coal Mine Based on Fuzzy Inference System. Journal of Intelligent & Fuzzy Systems, 26(1), 345-351. https://doi.org/10.3233/ifs-120743

Karahan, V. & Aydoğmuş, E. (2023). Risk Analysis And Risk Assessment of Laboratory Work by Fine Kinney Method. International Journal of Advanced Natural Sciences And Engineering Researches, 7(4), 442-446. https://doi.org/10.59287/ijanser.788

Fuchs, T., Visagie, C., Wingfield, B., & Wingfield, M. (2024). Sporothrix And Sporotrichosis: A South African Perspective on A Growing Global Health Threat. Mycoses, 67(10). https://doi.org/10.1111/myc.13806

Ijaz, M., Ahmad, S., Akram, M., Thygerson, S., Nadeem, F., & Khan, W. (2020). Cross-Sectional Survey of Musculoskeletal Disorders in Workers Practicing Traditional Methods of Underground Coal Mining. International Journal of Environmental Research and Public Health, 17(7), 2566. https://doi.org/10.3390/ijerph17072566

Julian, T., Chen, Y., Wang, Y., Gao, W., Sun, Q., & Fukuda, H. (2023). Revolutionizing Wood Construction: Densified Integrated Wood With Voronoi Structures. Acs Applied Engineering Materials, 1(12), 3186-3193. https://doi.org/10.1021/acsaenm.3c00484

Li, G., Liu, H., Deng, W., Wang, H., & Yan, H. (2021). Behavior Of CFRP-Confined Sand-Based Material Columns Under Axial Compression. Polymers, 13(22), 3994. https://doi.org/10.3390/polym13223994

Özbakır, O. (2024). Enhancing Healthcare Worker Well-Being And Patient Safety in The

Pediatric Emergency Department: A Comprehensive Hazard And Risk Analysis. The Journal of International Scientific Researches, 9(1), 35-49. https://doi.org/10.23834/isrjournal.1385350

Pajić, V. & Andrejić, M. (2023). Risk Analysis in Internal Transport: An Evaluation of Occupational Health And Safety Using The Fine-Kinney Method. Journal of Operational And Strategic Analytics, 1(4), 147-159. https://doi.org/10.56578/josa010401

Prusek, S., Rajwa, S., Wrana, A., & Krzemień, A. (2016). Assessment of Roof Fall Risk in Longwall Coal Mines. International Journal of Mining Reclamation And Environment, 31(8), 558-574. https://doi.org/10.1080/17480930.2016.1200897

Rahiminejad, M., Wakili, K., Barat, A., & Renfer, C. (2024). Hygrothermal Performance Analysis of Wooden Basements Under Critical Conditions. Buildings, 14(7), 2222. https://doi.org/10.3390/buildings14072222

Satıcı, S. & Mete, S. (2024). Fine-Kinney-Based Occupational Risk Assessment Using Pythagorean Fuzzy AHP-COPRAS for The Lifting Equipment in The Energy Distribution And Investment Sector. Gazi University Journal of Science, 37(2), 854-873. https://doi.org/10.35378/gujs.1227756

Sun, J., Liu, G., & Hu, X. (2022). Advanced Support Technologies in Roadway. Applied Sciences, 12(20), 10233. https://doi.org/10.3390/app122010233

Tüylü, D., Ekşi, S., Topçu, İ., & Güneri, A. (2024). Risk Prioritization And Case Study in The Pharmaceutical Sector With Fine-Kinney, Fuzzy Fine Kinney And Fuzzy Cognitive Mapping Approach. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3978667/v1

Zhang, Y., Yang, W., Han, D., & Kim, Y. (2014). An Integrated Environment Monitoring System for Underground Coal Mines—Wireless Sensor Network Subsystem With Multi-Parameter Monitoring. Sensors, 14(7), 13149-13170. https://doi.org/10.3390/s140713149

YERALTI KÖMÜR GAZI İZLEME SİSTEMİNİN ENDÜSTRİ 4.0 TEKNOLOJİLERİYLE ENTEGRASYONU

INTEGRATION OF UNDERGROUND COAL GAS MONITORING SYSTEM WITH INDUSTRY 4.0 TECHNOLOGIES

Erkan Özkan
Afyon Kocatepe Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

Muharrem Kemal Özfirat
Dokuz Eylül Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

Oğuzhan Öz
Afyon Kocatepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Afyonkarahisar

Ali Kemal Eyüboğlu
Dokuz Eylül Üniversitesi, Bergama Meslek Yüksekokulu, Elektrik Ve Enerji Bölümü, İzmir

ÖZ: Yeraltı kömür madenlerinde metan (CH_4) ve karbon monoksit (CO) gibi tehlikeli gazların varlığı, geleneksel yöntemlerin ötesinde gelişmiş izleme çözümlerini zorunlu kılmaktadır. Bu çalışma, Endüstri 4.0 yaklaşımıyla Nesnelerin İnterneti (IoT) ve Yapay Zeka (AI) gibi modern dijital teknolojilerin maden gaz izleme sistemlerine entegrasyonunu ele almaktadır. Akıllı sensörlerden gelen anlık verilerin, zorlu yeraltı koşullarına uygun güvenilir kablosuz ağlar aracılığıyla iletilmesi ve modern platformlarda işlenmesi incelenmektedir. Özellikle AI tabanlı analizler, gaz seviyelerini ve potansiyel riskleri önceden tahmin etme, normal dışı durumları erken saptama ve kestirimci bakım gibi yetenekler sunmaktadır. Bu teknolojik entegrasyon, madencilikte reaktif güvenlik anlayışından proaktif ve öngörücü stratejilere geçişi mümkün kılarak, operasyonel verimliliği ve en önemlisi çalışan güvenliğini önemli ölçüde artırma potansiyeli taşımaktadır.

Anahtar Kelimeler: Gaz İzleme, Endüstri 4.0, Nesnelerin İnterneti (IoT), Yapay Zeka (AI), İş Güvenliği, Kablosuz Sensör Ağları (WSN).

ABSTRACT: *The presence of hazardous gases such as methane (CH4) and carbon monoxide (CO) in underground coal mines necessitate advanced monitoring solutions beyond traditional methods. This study addresses integrating modern digital technologies like the Internet of Things (IoT) and Artificial Intelligence (AI) into mine gas monitoring systems through the industry*

4.0 approach. It examines real-time data transmission from smart sensors via reliable wireless networks suitable for challenging underground conditions and its processing on modern platforms. AI-based analyses offer capabilities such as predicting gas levels and potential risks, early detection of abnormal conditions, and predictive maintenance. This technological integration enables a shift from reactive safety understanding to proactive and predictive strategies in mining, significantly enhancing operational efficiency and, most importantly, worker safety.

Keywords: *Gas Monitoring, Industry 4.0, Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), Occupational Safety, Wireless Sensor Networks (WSN).*

1. GİRİŞ

CH_4 ve CO gibi tehlikeli gazların doğal olarak birikebildiği yeraltı kömür madenciliği ortamı, önemli riskler barındıran bir çalışma alanıdır. Renksiz ve kokusuz bir gaz olan CH_4'ın kritik seviyelerde birikmesi sonucu patlayıcı bir atmosfer oluşturur. CH_4'ın sensörlerle kritik değerlere ulaşmadan algılanamaması grizu patlamalarına yol açabileceğinden, madenlerde güvenilir ve sürekli izleme sistemlerine ihtiyaç vardır (Sidorenko vd., 2024). Ayrıca, kömürün tam olarak yanmaması nedeniyle oluşan kokusuz ve çok zehirli bir gaz olan CO'in kapalı bir alanda birikmesi zehirlenmelere neden olur. Bu gazın ortaya çıkması kendiliğinden yanma olayının başlangıcı olan ikincil bir tehlike olarak karşımıza çıkmaktadır (Wang vd., 2019).

Tarihsel olarak, CH_4 ile CO gazları, çok sayıda can kaybıyla sonuçlanan maden facialarında belirleyici rol oynamıştır. Bu trajik olaylar, gelişmiş izleme sistemleri ve sıkı güvenlik protokollerinin yeniden düzenlenmesine neden olmuştur (Sanmiquel-Pera vd., 2019). CH_4 patlamalarının, ortamdaki kömür tozunu tutuşturarak zincirleme reaksiyonlara yol açma ve daha büyük felaketleri oluşturma riski bulunmaktadır (Seaman vd., 2020). Yeraltı kömür madenciliğinde metan (grizu) ile kömür tozu kaynaklı ölümcül kaza riski küresel bir sorundur. Bu riskin ciddiyeti; dünyanın en büyük kömür üreticisi olması nedeniyle Çin'de, derin ve gazlı maden yapısı sebebiyle Ukrayna'da, geçmişte Soma ile Amasra gibi

büyük faciaların yaşandığı Türkiye'de meydana gelen çok sayıda kaza ile doğrulanmaktadır. Madencilik faaliyetlerinin derinleşmesiyle birlikte artan metan ve gaz degajman oranları da bu yaygın tehlikenin yönetimini giderek karmaşıklaştırmaktadır (Hu vd., 2022; Wu vd., 2022).

Madencilikteki tehlikeli gaz risklerini azaltmak amacıyla, geleneksel yöntemlere kıyasla daha doğru ve güvenilir ölçüm kabiliyetine sahip TDLAS (Ayarlanabilir Diyot Lazer Absorpsiyon Spektroskopisi) sensörleriyle entegre olan IoT (Nesnelerin İnterneti) sistemlerinin kullanımı giderek artmaktadır. Bu sistemler, temel işlev olarak, sensör verilerini kablosuz ağlar aracılığıyla IoT platformunda toplayıp analiz ederek tehlikelerin anlık tespiti sonucunda erken uyarı sistemlerinin çalışmasını sağlar. Daha ileri seviyede, Yapay Zeka (AI) ile Makine Öğrenmesi (ML) algoritmalarının entegrasyonu ile mevcut durumu izlemenin ötesine geçerek gelecekteki olası tehlikeleri öngörmesi sonucunda proaktif (önleyici) tedbirlerin alınmasını sağlayacaktır (Tripathi vd., 2023; Gong vd., 2022).

Kömür madenlerinde güvenli üretim, gaz, yangın, göçük ve su baskını gibi başlıca tehlikelerin etkin bir şekilde izlenmesini ve erken uyarı sistemlerinin kurulmasını gerektirir. Güvenlik yönetiminde önleyici yaklaşım esas alındığından, izleme, tahmin ve uyarı mekanizmaları kazaları engellemede kritik bir öneme sahiptir (Zhang vd., 2014). Ancak, geleneksel sensörlerin algılama veya veri iletimindeki gecikmeleri, maden atmosferinin hızla değişebilen yapısı (örneğin, gaz seviyeleri) nedeniyle ciddi güvenlik açıkları oluşturabilir. Bilginin gereken yerlere zamanında ulaşmaması ise tehlikelerin erken tespitini ve acil durumlarda etkili müdahaleyi zorlaştırmaktadır (Monroy vd., 2012; Zhang vd., 2025).

Bu çalışmanın amacı, Endüstri 4.0'ın temel bileşenleri olan IoT, AI, ML, büyük veri analitiği, bulut bilişim, kablosuz sensör ağları (WSN) gibi teknolojilerin yeraltı kömür madeni gaz izleme sistemlerine entegrasyonunu;

sağladığı potansiyel faydaları, beraberinde getirdiği zorlukları ve gelecek için sunduğu perspektifleri, güncel çalışmalar ışığında değerlendirmektir.

2. GAZ İZLEME SİSTEMLERİNİN ENDÜSTRİ 4.0 İLE DÖNÜŞÜMÜ

Endüstri 4.0 bileşenleri, madencilik sektöründeki gaz izleme sistemlerinin yetkinliğini arttırarak iş güvenliği ve operasyonel verimlilikte önemli iyileştirmeler için bir potansiyel sunmaktadır.

2.1. Madencilikte Nesnelerin İnterneti (IoT)

Fiziksel nesneleri ve sistemleri internet üzerinden birbirine bağlayan IoT, madencilik dahil çeşitli endüstrilerde önemli bir dönüşüm sağlamaktadır (Molaei vd., 2020). Madencilik faaliyetlerinde IoT; sunduğu gerçek zamanlı izleme, uzaktan yönetim ve veri toplama olanaklarıyla güvenlik ile verimliliği yükseltmekte, üretkenliği arttırmaktadır (Aziz vd., 2020; Zvarivadza vd., 2024). Ancak, IoT cihazlarının ürettiği büyük hacimli ve çeşitli türdeki verilerin yönetilmesi, geleneksel veritabanı sistemleri için ciddi zorluklar yaratmaktadır (Diène vd., 2020). IoT kavramlarını endüstriyel uygulamalara taşıyan Endüstriyel Nesnelerin İnterneti (IIoT) ise siber-fiziksel sistemlerin bütünleşmesini kolaylaştırmaktadır (Lourens vd., 2022). Taşıdığı bu potansiyele rağmen madencilik endüstrisi, altyapı eksiklikleri ve değişime uyum sağlama güçlükleri gibi nedenlerle IoT teknolojilerini benimseme konusunda zorluklar yaşamaktadır (Molaei vd., 2020; Aziz vd., 2020).

IoT, madencilik faaliyetlerinde iş sağlığı ve güvenliğinin geliştirilmesi, süreç optimizasyonu ve kaza risklerinin azaltılması gibi alanlarda dönüştürücü bir potansiyel barındırmaktadır (Zhang vd., 2024; Jogekar & Sinha, 2025; Molaei vd., 2020). Özellikle yeraltı madenlerinde, tehlikeli ve yanıcı gazların izlenmesi kritik bir güvenlik unsurudur (Jogekar & Sinha, 2025; Molaei vd., 2020). IoT tabanlı akıllı sensörler aracılığıyla; gaz konsantrasyonları ile sıcaklık, nem ve hava akış hızı gibi kritik çevresel parametrelerin sürekli, gerçek zamanlı izlenmesi mümkün

olmaktadır (Cacciuttolo vd., 2024; Li vd., 2023; Tripathi vd., 2023). Toplanan bu verilerin gerçek zamanlı analizi, potansiyel tehlikelerin erken tespiti açısından kritik öneme sahiptir (Cacciuttolo vd., 2024; Li vd., 2023). Dahası, bu çevresel izleme ve analiz yeteneklerinin personel/ekipman konumlandırma sistemleriyle entegrasyonu, maden sahalarında kapsamlı, proaktif bir güvenlik yönetimi altyapısının temelini oluşturmaktadır (Jo & Khan, 2017; Cacciuttolo vd., 2024). Bu entegrasyon, akıllı madencilik sistemleri vasıtasıyla daha güvenli ve verimli operasyonlar gerçekleştirilmesini mümkün kılar (Jo & Khan, 2017; Li vd., 2023). Ayrıca, bu sistemler aracılığıyla sürekli toplanan kapsamlı veri setleri, gelecekteki tehlikelerin modellenmesi ve öngörülmesine olanak tanıyarak karar verme süreçlerini kayda değer ölçüde iyileştirmektedir (Tripathi vd., 2023; Li vd., 2023; Singh V vd., 2024; Prasad & Pillai, 2018).

2.2. Yeraltı Madenciliğinde Kablosuz İletişim Teknolojileri

Zorlu yeraltı madenciliği koşullarında dahi etkin, güvenilir ve maliyet-etkin veri iletimi sağlamak amacıyla WSN, özellikle ZigBee ve LoRaWAN gibi Düşük Güçlü Geniş Alan Ağı (LPWAN) teknolojilerinin entegrasyonuyla önemli imkanlar sunmaktadır (Jogekar & Sinha, 2025; Cacciuttolo vd., 2024). Bu teknolojilerden öne çıkan LoRaWAN, LoRa fiziksel katmanını kullanarak özellikle IoT uygulamaları için tasarlanmış, düşük güç tüketimi ile uzun mesafeli kablosuz iletişim sağlamayı hedeflemektedir (Kumar vd., 2023). Genellikle ağ geçitleri ve yıldız topolojisi kullanarak IoT cihazlarını birbirine bağlayan LoRaWAN (Branch & Cricenti, 2020), farklı enerji ve gecikme ihtiyaçlarına yanıt veren Sınıf A, B ve C gibi cihaz türleri sunmaktadır. Bu teknolojiler aynı zamanda esneklik ve ölçeklenebilirlik gibi önemli avantajlar da sağlamaktadır (Cacciuttolo vd., 2024; Tripathi vd., 2023; Zietek vd., 2020).

Karşılaştırmalı çalışmalar, LoRa'nın özellikle zorlu koşullarda ZigBee gibi alternatiflere göre daha avantajlı olabildiğini göstermektedir (Liu vd., 2022; Kanimozhi vd., 2023; Ferreira vd., 2021). Yeraltı madenlerinde uzun menzili ile

avantaj sağlayan LoRa'nın, görüş hattının olmadığı durumlarda etkin sinyal iletimi için tekrarlayıcılara ihtiyaç duyduğu belirtilmiştir (Branch & Cricenti, 2020; Kumar vd., 2023). Ayrıca, çok yollu sinyal yayılımı performansı etkileyebilse de (Emmanuel vd., 2019), uyarlanabilir protokoller kullanılarak kritik iletişim iyileştirilebilmektedir.

2.3. Giyilebilir Teknolojiler ve Zorlukları

Bu tür WSN sistemleri, taşınabilir kişisel gaz dedektörleri ve akıllı baretler gibi giyilebilir teknolojiler aracılığıyla madencileri ortamdaki tehlikelere karşı eş zamanlı olarak bilgilendirmekte ve uzaktan izleme yetenekleri sayesinde personelin tehlikeli bölgelere fiziksel erişim ihtiyacını azaltmaktadır (Zietek vd., 2020; Suresh vd., 2023; Molaei vd., 2020). Önceden tanımlanmış güvenlik eşik değerlerinin aşılması durumunda otomatik olarak devreye giren sesli/görsel alarmlar veya SMS/mobil bildirimler gibi anlık uyarı mekanizmaları, kazaların önlenmesinde ve hasarın en aza indirilmesinde kritik rol oynar (Gomes vd., 2019; Prasad & Pillai, 2018; Suresh vd., 2023).

Gelişmiş IoT tabanlı sistemlerin madencilik gibi zorlu ortamlarda yaygınlaşması; yüksek başlangıç maliyetleri, sensör doğruluğu ve dayanıklılığına dair endişeler, veri güvenliği ve gizliliği sorunları, mevcut altyapılarla entegrasyon ve yeraltında güvenilir kablosuz iletişim kurma zorlukları ve büyük veri yönetimi gibi çeşitli engellerle karşılaşmaktadır (Zhang vd., 2023; Jogekar & Sinha, 2025; Molaei vd., 2020; Li vd., 2023; Zietek vd., 2020). Ancak gelişmiş siber güvenlik protokolleri, ölçeklenebilir mimariler ve enerji verimli sensör teknolojileri bu zorlukların aşılmasında önemli bir potansiyel sunmaktadır (Cacciuttolo vd., 2024; Jogekar & Sinha, 2025; Molaei vd., 2020). Bu zorluklara rağmen LoRaWAN gibi IoT tabanlı WSN sistemleri, madenlerde gerçek zamanlı izleme ile güvenliği ve verimliliği artırma potansiyeli taşımaktatır. Sonuç olarak, doğru planlamayla düşük maliyetli ve güvenilir bir çözüm olarak öne çıkmaktadır (Cacciuttolo vd., 2024).

2.4. Veri İşleme ve Analiz: Yapay Zeka ve Bulut Bilişim Yaklaşımları

Madencilik sektöründe karar verme süreçleri, IoT sensörlerinden elde edilen ham verilerin AI ve büyük veri analitiği yöntemleriyle işlenerek anlamlı öngörülere dönüştürülmesi yoluyla önemli ölçüde değişmektedir (Noriega & Pourrahimian, 2022; Villegas-Ch vd., 2024). Bu teknolojilerin; gaz izleme, tehlike tahmini, üretimin optimizasyonu ve ekipmanların kestirimci bakım stratejilerinin geliştirilmesi gibi alanlarda uygulanması, iş güvenliğini arttırmaktadır (Gidiagba vd., 2023; Noriega & Pourrahimian, 2022; Vlachos vd., 2024).

AI ve makine öğrenmesi ML algoritmaları, gaz izleme verimliliğini ve maden güvenliğini artırmada önemli bir potansiyel sunmaktadır. Zaman serisi analizi [örn. Uzun Kısa Süreli Bellek (LSTM)], örüntü tanıma [örn. Yapay Sinir Ağları (ANN)] ve diğer ML yöntemleri (örn. Karar Ağaçları, Destek Vektör Makineleri (SVM), hibrit modeller), metan davranışı modellemesi, tehlike öngörüsü ve kömür/gaz degajmanı riski değerlendirmesi gibi kritik görevlerde kullanılmaktadır (Demirkan vd., 2022; Soomro & Jilani, 2020; Ji & Shi, 2023). Hesaplamalı Akışkanlar Dinamiği (CFD) simülasyon verileriyle eğitilen modeller, potansiyel gaz birikim bölgelerini yüksek doğrulukla tahminleyebilmektedir (Demirkan vd., 2022). Özellikle Nesnelerin İnterneti (IoT) ile bütünleşik çalışan bu sistemler, farklı ortam parametrelerini sürekli analiz ederek anomalileri ve riskleri geleneksel yöntemlere kıyasla erken aşamada saptama yeteneğine sahiptir (Demirkan vd., 2022; Villegas-Ch vd., 2024; Naik vd., 2024; Jo & Khan, 2017). Bu yetenek, etkili erken uyarı mekanizmalarının geliştirilmesini ve proaktif müdahaleler için karar desteği sağlanmasını mümkün kılmaktadır (Ji & Shi, 2023; Soomro & Jilani, 2020; Vlachos vd., 2024).

AI ve ML algoritmaları, ekipman sensör verilerini (örn. titreşim, sıcaklık, basınç) analiz ederek olası arızaları öngören kestirimci bakım stratejilerinin geliştirilmesine imkan tanımaktadır. Bu stratejiler sayesinde plansız duruş süreleri ve bakım maliyetleri en aza indirilirken, genel operasyonel verimlilik arttırılmaktadır (Gidiagba vd., 2023; Singh vd., 2022). Uçtan uca (end-to-end) IoT

sistemleri, AI yeteneklerini kullanarak bu alanda gerçek zamanlı izleme ve analitik çözümler sunmakta (Gidiagba vd., 2023; Jo & Khan, 2017; Vlachos vd., 2024), yaklaşımların maliyet etkinliği, saha çalışmalarıyla da desteklenmektedir (Gidiagba vd., 2023; Vlachos et al., 2024). Bu süreçlerde üretilen büyük hacimli verinin etkin bir şekilde depolanması, işlenmesi ve analizi için ise bulut bilişim altyapıları, gerekli ölçeklenebilir platformları sağlayarak sistem bütünlüğünü tamamlamaktadır.

3. ENTEGRE GAZ İZLEME SİSTEMİ MİMARİSİ

Endüstri 4.0 tabanlı entegre yeraltı gaz izleme sistemleri, sensörlerden karar destek mekanizmalarına kadar uzanan, genellikle farklı işlevsel katmanlara sahip bütünleşik bir mimari üzerine kurulur.

3.1. Sistem Mimarisi Katmanları ve İletişim Altyapısı

Modern Maden Nesnelerin İnterneti (MIoT) sistemleri genellikle üç ana katmandan oluşur: Algılama/Kontrol, Ağ (İletişim) ve Uygulama (Veri İşleme/Analiz) (Zhang vd., 2023).

Algılama/Kontrol Katmanı: Maden sahasındaki kritik noktalara yerleştirilen sensörler, gaz konsantrasyonları ile sıcaklık, nem, basınç, hava akışı ve sismik aktivite gibi çevresel parametreleri sürekli izler (Zhang vd., 2023; Bisht vd., 2024; Tripathi vd., 2023; Dhanalakshmi vd., 2023).

Ağ (İletişim) Katmanı: Sensör verilerini analiz için merkezi sisteme (sunucu/bulut) güvenli ve kesintisiz iletmekle görevlidir. Yeraltı ortamının zorlu koşulları (sinyal zayıflaması, engeller, girişim) gerçek zamanlı iletişimi zorlaştırmaktadır (Wang vd., 2024; Musonda vd., 2024; Cacciuttolo vd., 2024). İletişim kesintileri ciddi güvenlik riskleri yaratmaktadır (Musonda vd., 2024). Geleneksel kablolu sistemler pahalı, hasara açık ve esnek değildir (Bisht vd., 2024; Zhang vd., 2023). Bu nedenle WSN, özellikle LoRaWAN gibi LPWAN

teknolojileri tercih edilir (Jogekar & Sinha, 2025; Cacciuttolo vd., 2024). LoRaWAN; uzun menzil, düşük güç tüketimi, yüksek penetrasyon ve parazitlere dayanıklılık avantajları sunmaktadır (Musonda vd., 2024; Cacciuttolo vd., 2024), bu da daha düşük maliyetli, esnek ve güvenilir sistemler sağlar (Cacciuttolo, 2024; Wang, 2024). Fiber optik, Zigbee veya Wi-Fi gibi teknolojilerle hibrit ağlar da kurulabilir (Jo & Khan, 2017; Srivalli vd., 2023; Zhang vd., 2023).

Uygulama Katmanı: Veri yönetimi, analizi ve sunumunu üstlenmektedir (Song vd., 2024; Aziz vd., 2020). Algılama katmanından gelen verileri entegre edip işleyerek eyleme dönüştürür. (Song vd., 2024; Ferdows vd., 2020). Bulut bilişim büyük verinin işlenmesini, depolanmasını ve analizini kolaylaştırarak gerçek zamanlı izleme ve erken uyarı sağlamaktadır (Tanwar vd., 2017; Suciu vd., 2017). Bu katman, uzaktan erişim ve analiz imkanıyla güvenlik yönetimi ve çevresel izleme odaklanmaktadır (Aziz vd., 2020; Prasad & Pillai, 2018). Sonuçta ise çalışan güvenliğini, operasyonel verimliliği ve afet hazırlığını arttırmayı hedeflemektedir (Aziz vd., 2020; Song vd., 2024; Prasad & Pillai, 2018).

3.2. Gerçek Zamanlı Veri Toplama, İşleme ve Karar Destek Mekanizmaları

Bu sistemler sensörlerden sürekli ve gerçek zamanlı çevresel verileri toplamaktadır (Zhang vd., 2023; Bisht vd., 2024; Tripathi vd., 2023; Dhanalakshmi vd., 2023). Bu veriler, ağ katmanı üzerinden merkezi sisteme iletilir; burada depolanır, ön işleme tabi tutulur ve analiz edilir (Jo & Khan, 2017; Srivalli vd., 2023; Zhang vd., 2023).

Bulut sistemleri ile ThingSpeak gibi IoT platformları, büyük verinin verimli yönetimi, analizi ve yetkili personel tarafından uzaktan erişimi için kullanılmaktadır (Tao vd., 2019; Khamis vd., 2022; Dhanalakshmi vd., 2023; Zhang vd., 2023). Gerçek zamanlı işleme sayesinde, tehlikeli gaz seviyeleri aşıldığında veya anormal koşullar tespit edildiğinde otomatik uyarılar (sesli/görsel alarmlar, bildirimler) tetiklenir, bu da müdahale süresini kısaltarak güvenliği arttırmaktadır (Bisht vd., 2024; Srivalli vd., 2023).

AI ve ML algoritmaları (LSTM, ANN, SVM vb.) kullanılarak yapılan analizler, proaktif ve prediktif güvenlik yaklaşımlarını mümkün kılmaktdır (Tripathi vd., 2023; Zhang vd., 2023). Bu algoritmalar, gelecekteki gaz seviyelerini, degajman riskini tahmin edebilir. Bununla birlikte anomali ve ekipman arızalarını erken saptayarak önleyici bakıma olanak tanımaktadır (Demirkan vd., 2022; Soomro & Jilani, 2020; Ji & Shi, 2023; Jo & Khan, 2017; Villegas-Ch vd., 2024; Naik vd., 2024).

Analiz sonuçları, otomatik kontrol sistemlerini (örneğin, havalandırmayı arttırma, enerji kesme) gerçekleştirmekte veya karar vericilere destek sunarak daha dinamik bir güvenlik yönetimi sağlamaktadır (Li vd., 2022; Szlazak vd., 2020; Dursun, 2019).

4. FARKLI ÜLKELERDE MADENCİLİKLE İLGİLİ UYGULAMA ÖRNEKLERİ

Dünyanın en büyük kömür üreticisi olan Çin, maden güvenliği teknolojilerine büyük yatırım yapmaktadır. Yangınları günler öncesinden haber verebilen yüksek hassasiyetli sensörler ve özel yapay zeka (AI) algoritmalarıyla geliştirilmiş gaz izleme sistemleri öne çıkmaktadır. Ayrıca, çeşitli madenlerde acil durumları otonom olarak algılayan AI tabanlı tehlike tespit sistemleri kullanılmaktadır. Nesnelerin İnterneti (IoT), Kablosuz Sensör Ağları (WSN) ve uydu tabanlı metan izleme gibi alanlarda da araştırmalar sürmektedir.

AB'nin önemli taşkömürü üreticilerinden Polonya, derin madenlerdeki metan tehlikeleri ile mücadele etmektedir. Bu amaçla, büyük çaplı sondajlar, su enjeksiyonu gibi önleyici yöntemler ve metan gazının yakalanıp enerji üretiminde kullanılması gibi azaltım stratejileri geliştirilmektedir. Emisyonları ölçmek için helikopter tabanlı sistemler gibi ileri teknikler ve düşük maliyetli taşınabilir izleme cihazları da test edilmektedir.

Savaş koşullarına rağmen Ukrayna enerji sektörü, büyük şirketler öncülüğünde dijital dönüşümünü sürdürmektedir. Bazı şirketler, madencilik

operasyonlarını iyileştirmek için bilgisayarlı görüntü, dronlar, AI ve IoT çözümleri geliştirirken; diğerleri operasyonel verimlilik ve güvenliği artırmak amacıyla bulut bilişim destekli kapsamlı dijital programlar yürütmektedir.

5. SONUÇ

Bu çalışma, Endüstri 4.0 teknolojilerinin yeraltı kömür madenlerindeki gaz izleme sistemleriyle birleştirilmesinin getirdiği fırsatları ve zorlukları ele almaktadır. Bu entegrasyon, tehlikeli gazların anlık takibi ve risklerin (patlama, yangın gibi) önceden tahmini sayesinde iş güvenliğini önemli ölçüde artırma potansiyeli sunmaktadır. Bununla birlikte, kestirimci bakım ve süreç optimizasyonu ile operasyonel verimliliği de iyileştirmektedir. Ancak, yüksek başlangıç maliyetleri, zorlu maden koşullarında sensörlerin performansı ve dayanıklılığı en büyük sorunlardandır. Diğer taraftan yeraltında güvenilir kablosuz iletişim kurma güçlüğü ve veri güvenliği gibi önemli engeller bulunmaktadır. Bu teknolojik zorlukların yanı sıra, uygulamanın başarısı için güçlü bir kurumsal güvenlik kültürüne, etkin yönetim yaklaşımlarına ve personelin adaptasyonunun sağlanmasına ihtiyaç vardır. Gelecekte, daha gelişmiş sensörler, optimize edilmiş iletişim protokolleri ve ileri analitik yöntemleri de ortaya çıkacaktır. Bu teknolojilerin sunduğu potansiyelden tam olarak yararlanabilmek için sürekli araştırma, yenilik ve iş birliğine ihtiyaç duyulmaktadır.

KAYNAKLAR

Aziz, A., Schelén, O., & Bodin, U. (2020). A study on industrial IoT for the mining industry: Synthesized architecture and open research directions. IoT, 1(2), 529–550. https://doi.org/10.3390/iot1020029

Bisht, A., Aman, Yadav, D. K., Pandey, A., & Garg, A. (2024). Real time safety monitoring system in coal mines using IoT. *2024 International Conference on Intelligent Systems for Cybersecurity (ISCS)* (pp. 1-5). IEEE. https://doi.org/10.1109/ISCS61804.2024.10581276

Branch, P., & Cricenti, T. (2020). A LoRa relay based system for detonating explosives in underground mines. *2020 International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 259–264. https://doi.org/10.1109/ICIT45562.2020.9067213

Cacciuttolo, C., Atencio, E., Komarizadehasl, S., & Lozano-Galant, J. A. (2024). Internet of Things long-range-wide-area-network-based wireless sensors network for underground mine monitoring: Planning an efficient, safe, and sustainable labor environment. *Sensors*, *24*(21), Article 6971. https://doi.org/10.3390/s24216971

Demirkan, D. C., Duzgun, H. S., Juganda, A., Brune, J., & Bogin, G. (2022). Evaluation of time series artificial intelligence models for real-time/near-real-time methane prediction in coal mines. *CIM Journal*, *13*(3), 97–106. https://doi.org/10.1080/19236026.2022.2066844

Demirkan, D. C., Duzgun, H. S., Juganda, A., Brune, J., & Bogin, G. (2022). Real-time methane prediction in underground longwall coal mining using AI. *Energies*, *15*(17), Article 6486. https://doi.org/10.3390/en15176486

Dhanalakshmi, V., Vimalraj, S., & Praveen Raj, B. (2023). Keeping track of coal mine safety using IoT technology. *2023 Eighth International Conference on Science Technology Engineering and Mathematics (ICONSTEM)* (pp. 1173-1177). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICONSTEM56934.2023.10142538

Diène, B., Rodrigues, J. J. P. C., Diallo, O., Ndoye, E. H. M., & Korotaev, V. V. (2020). Data management techniques for Internet of Things. Mechanical Systems and Signal Processing, 138, Article 106564. https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106564

Dursun, A. E. (2019). Türkiye'de yeraltı kömür madenlerinde grizu patlamalarının neden olduğu ölümlü iş kazalarının analizi ve karşı önlemler. *Madencilik*, *58*(4), 299–310. https://doi.org/10.30797/madencilik.649171

Emmanuel, L., Farjow, W., & Fernando, X. (2019). LoRa wireless link performance in multipath underground mines. *2019 International Conference on Innovation and Intelligence for Informatics, Computing, and Technologies (3ICT)*, 1–4. https://doi.org/10.1109/3ict.2019.8910316

Ferdows, J., Mehedi, S. T., Hossain, A. D., Shamim, A. A. M., & Rasiq, G. R. I. (2020, Kasım 6-8). *A comprehensive study of IoT application layer security management* [Konferans sunumu]. 2020 IEEE International Conference for Innovation in Technology (INOCON), Bengaluru, Hindistan.

Ferreira, L. C., da Silva, L. C. B., & Rosa, P. F. F. (2021). Performance evaluation of LoRa and ZigBee technologies applied to FANETs. *2021 Latin American Robotics Symposium (LARS), 2021 Brazilian Symposium on Robotics (SBR), and 2021 Workshop on Robotics in Education (WRE)*, 48–53. https://doi.org/10.1109/LARS/SBR/WRE54079.2021.9605437

Gomes, J. B. A., Rodrigues, J. J. P. C., Rabêlo, R. A. L., Kumar, N., & Kozlov, S. (2019). IoT-enabled gas sensors: Technologies, applications, and opportunities. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, *8*(4), Article 57. https://doi.org/10.3390/jsan8040057

Gidiagba, J. O., Egbokhaebho, B. A., Ogunjobi, O. A., Ofonagoro, K. A., & Daraojimba, C. (2023). Machine learning innovations in predictive maintenance: A comprehensive review of applications in the mining sector. *Earth Sciences Pakistan*, *7*(2), 48–56. https://doi.org/10.5281/zenodo.10118854

Gong, W., Hu, J., Wang, Z., Wei, Y., Li, Y., Zhang, T., Zhang, Q., Liu, T., Ning, Y., Zhang, W., & Grattan, K. T. V. (2022). Recent advances in laser gas sensors for applications to safety monitoring in intelligent coal mines. *Frontiers in Physics*, *10*, Article 1058475. https://doi.org/10.3389/fphy.2022.1058475

Hu, J., Huang, R., & Xu, F. (2022). Data mining in coal-mine gas explosion accidents based on evidence-based safety: A case study in China. *Sustainability*, *14*(24), Article 16346. https://doi.org/10.3390/su142416346

Ji, P., & Shi, S. (2023). Machine learning in coal and gas outburst prediction. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, *11*(1), 74–82. https://doi.org/10.4236/jamp.2023.111006

Jo, B. W., & Khan, R. M. A. (2017). An event reporting and early-warning safety system based on the Internet of Things for underground coal mines: A case study. *Applied Sciences*, *7*(9), Article 925. https://doi.org/10.3390/app7090925

Jogekar, A., & Sinha, P. (2025). A comprehensive review on the use of Internet-of-Things-based systems in underground mining for monitoring environmental conditions. *World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences*, *14*(1), 1–19. https://doi.org/10.30574/wjaets.2025.14.1.0651

Kanimozhi, T., Sangeethaa, S. N., Manimekalai, M. A. P., Malathi, P., Nasreen, A. K., & Deepak, A. (2023). Performance comparison of Zigbee and LoRa wireless networks in a building environment. *2023 Fifth International Conference on Electrical, Computer and Communication Technologies (ICECCT)*. https://doi.org/10.1109/ICECCT56650.2023.10179693

Khamis, A., Omar, M., & Ali, H. (2022). An IoT based worker safety helmet using cloud computing technology. *Tanzania Journal of Engineering and Technology*, *41*(3), 13–24. https://doi.org/10.52339/tjet.v41i3.769

Kumar, P. P., Paul, P. S., & Ananda, M. (2023). Development of LoRa communication system for effective transmission of data from underground coal mines. *Processes*, *11*(6), 1691. https://doi.org/10.3390/pr11061691

Li, H., Wang, S., & Zhang, G. (2023). Gas explosion early warning method in coal mines by intelligent mining system and multivariate data analysis. *PLOS ONE*, *18*(11), Article e0294155. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0294155

Li, K., Wang, L., & Chen, X. (2022). An analysis of gas accidents in Chinese coal mines, 2009–2019. *The Extractive Industries and Society*, *9*, Article 101049. https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101049

Liu, Z., Li, Y., Zhao, L., Liang, R., & Wang, P. (2022). Comparative evaluation of the performance of ZigBee and LoRa wireless networks in building environment. Electronics, 11(21), 3560. https://doi.org/10.3390/electronics11213560

Lourens, M., Tamizhselvi, A., Goswami, B., Alanya-Beltran, J., Aarif, M., & Gangodkar, D. (2022). Database management difficulties in the Internet of Things. 2022 5th International Conference on Contemporary Computing and Informatics (IC3I), 322–326. https://doi.org/10.1109/ic3i56241.2022.10072614

Molaei, F., Rahimi, E., Siavoshi, H., Afrouz, S. G., & Tenorio, V. (2020). A comprehensive review on Internet of Things (IoT) and its implications in the mining industry. American Journal of Engineering and Applied Sciences, 13(3), 499–515. https://doi.org/10.3844/ajeassp.2020.499.515

Monroy, J. G., González-Jiménez, J., & Blanco, J. L. (2012). Overcoming the slow recovery of MOX gas sensors through a system modeling approach. *Sensors*, *12*(10), 13664–13680. https://doi.org/10.3390/s121013664

Musonda, S. K., Ndiaye, M., Libati, H. M., & Abu-Mahfouz, A. M. (2024). Reliability of LoRaWAN communications in mining environments: A survey on challenges and design requirements. *Journal of Sensor and Actuator Networks*, *13*(1), Article 16. https://doi.org/10.3390/jsan13010016

Naik, A. S., Reddy, S. K., & Raj, M. G. (2024). RTEPMS: Real-time environmental parameters monitoring system using IoT-based LoRa 868-MHz wireless communication technology in underground mines. *IEEE Access*, *12*, 7430–7455. https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3350429

Noriega, R., & Pourrahimian, Y. (2022). A systematic review of artificial intelligence and data-driven approaches in strategic open-pit mine planning. *Resources Policy*, *77*, Article 102727. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102727

Prasad, G. S. C., & Pillai, A. S. (2018). Role of Industrial IoT in critical environmental conditions. *2018 Second International Conference on Intelligent Computing and Control Systems (ICICCS)* (pp. 1369–1372). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICICCS.2018.8617630

Sanmiquel-Pera, L., Bascompta, M., & Anticoi, H. F. (2019). Analysis of a historical accident in a Spanish coal mine. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, *16*(19), Article 3615. https://doi.org/10.3390/ijerph16193615

Seaman, C., Shahan, M., Beck, T., & Mischler, S. (2020). Design of a water curtain to reduce accumulations of float coal dust in longwall returns. *International Journal of Mining Science and Technology*, *30*(4), 443–447. https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.05.001

Sidorenko, S. A., Trushnikov, V. U., & Sidorenko, A. A. (2024). Methane emission estimation tools as a basis for sustainable underground mining of gas-bearing coal seams. *Sustainability*, *16*(8), Article 3457. https://doi.org/10.3390/su16083457

Singh, D. R. V., Kishore, N. S., Srivijay, B., & Anjum, N. N. (2024). Smart mining: Integrating Internet of Things (IoT) for improved coal mine safety. *2024 International Conference on*

Power, Energy, Control and Transmission Systems (ICPECTS) (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICPECTS62210.2024.10780324

Singh, A., Mittal, A., Haldar, G., & Kumar, D. (2022). *Artificial intelligence-based predictive analysis of Self-Advancing Goaf Edge Support (SAGES) for improving underground mines safety*. [Preprint]. Research Square. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1417118/v1

Soomro, A. H., & Jilani, M. T. (2020). Application of IoT and Artificial Neural Networks (ANN) for monitoring of underground coal mines. *2020 International Conference on Information Science and Communication Technology (ICISCT)* (pp. 1–6). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICISCT49550.2020.9264436

Srivalli, G., Sony, V. U., Sahithi, G., Harshini, D., & Spoorthi, B. (2023). Study on coal mine safety monitoring and alerting system using IoT. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, *11*(6), 3781–3786. https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.54194

Suresh, K., Rajakumar, P., Dakshina, R., Abinaya, V. R., & Soumya, M. (2023). *AireWatch: Futuristic Gas Monitoring*. 2023 Intelligent Computing and Control for Engineering and Business Systems (ICCEBS). https://doi.org/10.1109/ICCEBS58601.2023.10448707

Song, Z., Li, X., Huo, R., & Liu, L. (2024). Intelligent early-warning platform for open-pit mining: Current status and prospects. *Rock Mechanics Bulletin*, *3*, 100098. https://doi.org/10.1016/j.rockmb.2023.100098

Suciu, G., Suciu, V., Butca, C., Dobre, C., & Pop, F. (2017). *Elastic disaster early warning system using a cloud-based communication center* [Konferans sunumu]. IEEE Konferansı. (Not: Sağlanan bilgilere dayanarak konferans adı belirsizdir.)

Szlazak, N., Obracaj, D., & Swolkień, J. (2020). Enhancing safety in the Polish high-methane coal mines: An overview. *Mining, Metallurgy & Exploration*, *37*, 567–579. https://doi.org/10.1007/s42461-020-00190-0

Tanwar, S., Vora, J., Kaneriya, S., & Tyagi, S. (2017). *Fog-based enhanced safety management system for miners* [Konferans sunumu]. 3rd International Conference on Advances in Computing, Communication & Automation (ICACCA) 2017, Dehradun, Hindistan.

Tao, M., Liu, Y., & Wang, Z. (2019). Framework and application of a big data monitoring system for mining with a pillar-free self-forming roadway. *Applied Sciences*, *9*(10), Article 2111. https://doi.org/10.3390/app9102111

Tripathi, A. K., Aruna, M., Prasad, S., Pavan, J., Kant, R., & Choubey, C. K. (2023). New approach for monitoring the underground coal mines atmosphere using IoT technology. *Instrumentation Mesure Métrologie*, *22*(1), 29–34. https://doi.org/10.18280/i2m.220104

Villegas-Ch, W., García-Ortiz, J., & Sánchez-Viteri, S. (2024). Toward intelligent monitoring in IoT: AI applications for real-time analysis and prediction. *IEEE Access*, *12*, 40368–40386. https://www.google.com/search?q=https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3376306

Vlachos, D., Papadopoulos, G., & Ioannidis, K. (2024). A robust end-to-end IoT system for supporting workers in mining industries. *Sensors*, *24*(7), Article 2155. https://doi.org/10.3390/s24072155

Wang, Y., Fu, G., Li, Q., Wang, J., Wang, Y., He, M., Li, Y., & Xia, X. (2024). Accident case-driven study on the causal modeling and prevention strategies of coal-mine gas-explosion accidents: A systematic analysis of coal-mine accidents in China. *Resources Policy*, *88*, Article 104425. https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2023.104425

Wang, Z., Li, Y., Zhang, T., Hu, J., Wei, Y., & Liu, T. (2019). Highly sensitive carbon monoxide sensor for coal mine combustion monitoring. *Proceedings of SPIE*, *11342*, Article 113420B. https://doi.org/10.1117/12.2530876

Wu, X., Cui, J., Tong, R., & Li, Q. (2022). Research on methane measurement and interference factors in coal mines. *Sensors*, *22*(15), Article 5608. https://doi.org/10.3390/s22155608

Zhang, H., Li, B., Karimi, M., Saydam, S., & Hassan, M. (2023). Recent advancements in IoT implementation for environmental, safety, and production monitoring in underground mines. *IEEE Internet of Things Journal*, *10*(16), 14507–14526. https://doi.org/10.1109/JIOT.2023.3267828

Zhang, Y., Liu, M., & Tan, A. (2025). Delay-sensitive multi-sensor routing scheduling method for underground IoT in mines. *Sensors*, *25*(2), Article 369. https://doi.org/10.3390/s25020369

Zhang, Y., Yang, W., Han, D., & Kim, Y.-I. (2014). An integrated environment monitoring system for underground coal mines: Wireless sensor network subsystem with multi-parameter monitoring. *Sensors*, *14*(7), 13149–13170. https://doi.org/10.3390/s140713149

Zietek, B., Banasiewicz, A., Zimroz, R., Szrek, J., & Gola, S. (2020). A portable environmental data-monitoring system for air hazard evaluation in deep underground mines. *Energies*, *13*(23), Article 6331. https://doi.org/10.3390/en13236331

Zvarivadza, T., Onifade, M., Dayo-Olupona, O., Said, K. O., Githiria, J. M., Genc, B., & Celik, T. (2024). On the impact of industrial internet of things (IIoT): Mining sector perspectives. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, *38*(10), 771–809. https://doi.org/10.1080/17480930.2024.2347131.

CEVHER HAZIRLAMA VE ZENGİNLEŞTİRME TESİSLERİNDE ÜRETİM SIRASINDA VE SONRASINDA KARŞILAŞILAN İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ RİSKLERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY RISKS DURING AND AFTER PRODUCTION IN MINERAL PROCESSING AND BENEFICIATION PLANTS

Yasin Çinçin
Pamukkale Üniversitesi, Bilimsel Araştırma Projeleri Koordinatörlüğü, Denizli

ÖZ: Madencilik sektörü, hammadde üretimi açısından stratejik bir öneme sahip olmakla birlikte, yüksek düzeyde iş sağlığı ve güvenliği (İSG) riski barındırmaktadır. Bu risklerin önemli bir kısmı, cevher hazırlama ve zenginleştirme tesislerinde gerçekleştirilen kırma, eleme, öğütme ve kimyasal işlem adımlarında ortaya çıkmaktadır. Bu süreçler sonucunda oluşan ince taneli atıklar, akışkan çamurlar ve kimyasal kalıntılar gibi tehlikeli atıklar hem üretim süreci sırasında hem de madencilik sonrası rehabilitasyon döneminde ciddi İSG tehditleri oluşturmaktadır. Bu çalışmada söz konusu riskler literatüre dayalı olarak değerlendirilmiştir. Fiziksel ve kimyasal maruziyet türleri özellikle toz, gürültü, kimyasal maddeler ve ağır metaller incelenmiş; ayrıca atık barajları, pasa sahaları ve çamur havuzlarının neden olduğu yapısal ve çevresel tehlikelere değinilmiştir. Bulgular, üretim süreci sona erdikten sonra da iş güvenliği risklerinin devam ettiğini, göçük, asit maden drenajı ve ağır metal sızmaları gibi olayların hem çalışanları hem de çevre halkını tehdit ettiğini göstermektedir. Çalışmada, İSG uygulamalarının maden ömrünün tüm aşamalarına entegre edilmesi gerektiği vurgulanmakta; sürekli izleme sistemleri, saha temelli eğitimler ve disiplinler arası iş birliğinin önemi vurgulanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: Cevher hazırlama, iş sağlığı ve güvenliği, risk değerlendirmesi, maden atıkları yönetimi, madencilik sonrası rehabilitasyon

***ABSTRACT**: The mining sector, despite its strategic importance in raw material production, is associated with significant occupational health and safety (OHS) risks. Many of these risks originate in mineral processing and beneficiation plants where crushing, screening, grinding, and chemical treatments are carried out. These processes generate hazardous wastes such as fine tailings, slurries, and chemical residues that pose serious OHS challenges during both the operational and post-mining rehabilitation phases. This study adopts a literature-based approach to evaluate such risks, focusing on exposures to dust, noise, chemicals, and heavy metals, along with structural and environmental hazards related to*

tailings dams, dumps, and slurry ponds. Findings indicate that OHS risks persist beyond the production stage, with events such as collapses, acid mine drainage, and heavy metal leakage threatening both workers and nearby communities. The study emphasizes integrating OHS policies into all phases of the mining lifecycle and recommends implementing continuous monitoring systems, site-specific training, and interdisciplinary cooperation to achieve safer and more sustainable post-mining environments.

Keywords: *Mineral processing, beneficiation, occupational health and safety, mine waste management, risk assessment, post-mining rehabilitation*

1. GİRİŞ

Madencilik sektörü, sanayiye hammadde sağlama kapasitesi ve ekonomik katkısı nedeniyle stratejik öneme sahip bir alandır (Bilim ve ark.; 2018). Ancak yüksek risk içeren çalışma koşulları nedeniyle iş kazalarının en sık yaşandığı alanlardan biri olarak öne çıkmaktadır (Bayraktar ve ark.; 2018). Türkiye'de madencilik faaliyetleri, 3213 sayılı Maden Kanunu çerçevesinde yürütülmekte olup, bu kanun madenlerin aranması, işletilmesi, ruhsatlandırılması ve kamu yararına sunulmasına ilişkin temel esasları düzenlemektedir (Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı; 1985). Maden Kanunu'nun uygulama detayları, Maden Yönetmeliği ve Maden Çevre Yönetmeliği gibi ikincil mevzuatlarla desteklenmektedir (Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG); 2022). Sektörde faaliyet gösteren işletmelerin ayrıca çevresel etkilerini değerlendirmek amacıyla ÇED Yönetmeliği hükümlerine uymaları zorunludur. Madencilik, iş sağlığı ve güvenliği açısından "çok tehlikeli" sınıfta yer almakta olup, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'na tabidir (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı; 2012). Bu kapsamda, maden işyerlerinde özel olarak uygulanması gereken kurallar "Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği" ile belirlenmiştir (Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı; 2017). Söz konusu düzenlemeler hem aktif üretim dönemini hem de madencilik sonrası faaliyetleri kapsayacak şekilde, risklerin önlenmesi ve çalışan sağlığının korunmasına yönelik sistematik bir yaklaşım sunmaktadır.

Cevher hazırlama ve zenginleştirme süreçlerinin farklı aşamalarında, örneğin kırma, öğütme, eleme, çeşitli zenginleştirme işlemleri içeren, yüksek enerji ve kimyasal tüketimiyle karakterize bir süreçtir (Yıldız; 2025). Aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından önemli riskler barındırmaktadır. Bu işlemler sonucunda hem çalışan sağlığına hem de çevreye zarar verebilecek nitelikte etkiler oluşabilmektedir.

Üretim aşamasında ve sonrasında ortaya çıkan atıkların bileşimi ve taşıdığı risk, işlenen cevherin türüne ve uygulanan zenginleştirme yöntemine bağlı olarak değişmektedir. İşlem sonrası ortaya çıkan atıklar tamamen zararsız olabilirken bazen ise üretim yöntemine bağlı olarak kimyasal içeriklere (siyanür, sülfür vb.) sahip olabilmektedirler. Örnek olarak flotasyon yöntemi ile zenginleştirmede kullanılan reaktiflerin kalıntıları, depolanan atık çamurlarından bulunabilmekte ve bu durum, sahada çalışan personelin kimyasal maruziyetini artırmaktadır. Aynı zamanda bu tür atıklar, sızma veya tozuma yoluyla çevresel kirlenmeye de neden olabilmektedir (Hacıfazlıoğlu ve Şahin; 2023).

Bu çalışmada, cevher hazırlama tesislerinde ortaya çıkan maden atıklarının iş sağlığı ve güvenliği bağlamında neden olduğu tehlikeleri literatür temelli olarak incelemek ve bu tehlikelerin hem aktif üretim sürecinde hem de madencilik sonrası faaliyetler sırasında nasıl yönetilmesi gerektiğine dair öneriler sunmaktır. Böylelikle hem çalışan sağlığının korunması hem de sürdürülebilir maden yönetiminin desteklenmesi hedeflenmektedir.

2. CEVHER HAZIRLAMA TESİSLERİNDE ATIK OLUŞUMU VE MUHTEMEL İŞ GÜVENLİĞİNE ETKİLERİ

Cevher hazırlama tesisleri, madenden çıkarılan cevherin ekonomik değeri yüksek mineraller açısından zenginleştirilmesini amaçlayan çok aşamalı prosesleri içermektedir. Bu prosesler sırasında; öğütme sonrası çamur ve ince partiküller, zenginleştirilemeyen atık mineraller gibi çeşitli türlerde maden

atıkları oluşur. Bu atıkların büyük bir kısmı, geçici ya da kalıcı depolama sahalarında istiflenmektedir.

Bu süreçte ortaya çıkan başlıca iş sağlığı ve güvenliği riskleri aşağıda özetlenmiştir:

Toz Emisyonları; kırma, eleme ve kurutma gibi kuru proseslerde yüksek miktarda solunabilir toz oluşmaktadır. Özellikle silika içeren tozlar uzun süreli maruziyette silikozis gibi meslek hastalıklarına neden olabilir. *Yüksekte Çalışma;* çalışanların cevher hazırlama tesisleri içerisinde çalışma ortamları makine ve ekipmanların büyüklüğü ve tesis içerisine yerleşiminden dolayı yüksek seviyede olmaktadır. Bu durum çalışanlar için düşme risk oluşturmaktadır. *Kimyasal Kalıntılar;* zenginleştirme proseslerinde kullanılan kolektör, köpürtücü ve pH düzenleyici gibi kimyasalların kalıntıları, atık sular ve çamurlar aracılığıyla çevreye yayılabilir. Bu durum çalışanlar açısından cilt ve solunum yolu tahrişi gibi riskler taşımaktadır. *Mekanik Tehlikeler;* atıkların taşınması ve pompalanması sırasında kullanılan ekipmanlarda meydana gelebilecek arızalar ya da bakım faaliyetleri sırasında yaşanan kontrolsüz hareketler ciddi iş kazalarına yol açabilir. *Depolama Alanlarındaki Riskler;* atık barajlarının veya çamur havuzlarının yeterince güvenli inşa edilmemesi durumunda çökme, yıkılma ya da sızma gibi durumlar hem çalışanları hem de çevreyi etkileyebilecek büyük ölçekli kazalara neden olabilir.

Bu risklerin belirlenmesi ve yönetilmesi, yalnızca mevcut çalışanları değil, maden sahasının kapatılmasından sonraki dönemde alanda çalışacak olan diğer gruplar (rehabilitasyon ekipleri, çevre mühendisleri vb.) için de hayati önemdedir. Literatürde, özellikle gelişmekte olan ülkelerde bu risklerin yeterince kontrol altına alınamadığı ve ciddi iş kazalarının meydana geldiği vakalar dikkat çekmektedir (European Commission; 2006; Hacıfazlıoğlu ve Şahin; 2023).

3. MADENCİLİK SONRASI FAALİYETLERDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ RİSKLERİ

Madencilik faaliyetlerinin tamamlanmasının ardından başlayan madencilik sonrası süreçler, sahaların çevresel olarak güvenli hale getirilmesi, ekonomik olarak tekrar kullanılabilir kılınması veya doğal haline en yakın biçimde restore edilmesini kapsar. Bu faaliyetler arasında alan düzenlemesi, atık barajlarının kapatılması, su arıtımı, toprak iyileştirme, bitkilendirme ve sürekli izleme çalışmaları yer almaktadır (Walle ve Jennings; 2001). Bu süreçlerde görev alan çalışanlar, üretim aşamasında karşılaşılan risklerden farklı ancak aynı derecede tehlikeli risk faktörlerine maruz kalabilmektedir.

Zemin stabilitesizliği ve ani göçük riski, madencilik sonrası faaliyet alanlarında karşılaşılan önemli fiziksel tehditlerden biridir. Özellikle terk edilmiş yer altı galeri yapılarına ait boşlukların üzeri, zamanla yüzeyde herhangi bir belirti göstermeksizin çökebilir. Bu tür alanlarda çalışan personelin ve ağır ekipman kullanan işçilerin korunması için sondajlı zemin etüdü yapılmalı ve bariyer sistemleri kurulmalıdır. Benzer şekilde, cevher zenginleştirme işlemleri sonucu oluşan ince taneli atıkların depolandığı flotasyon barajları zaman içinde su alarak stabilitesini kaybedebilir. 2019 yılında Brezilya'nın Brumadinho bölgesinde meydana gelen atık barajı çökmesi, yalnızca çalışanları değil, çevre halkını da etkileyen büyük bir felaket örneği olarak kayıtlara geçmiştir. Rehabilitasyon faaliyetlerinde kullanılan ekskavatör, greyder ve kompaktör gibi makinelerle çalışırken ise geri görüş zayıflığı, dengesiz zemin ve ekipman yorgunluğu gibi nedenlerle ciddi yaralanmalar ve ölümler yaşanabilmektedir (Duan ve ark.; 2024).

Kimyasal ve biyolojik riskler de madencilik sonrası sahalarda önemli bir tehdit oluşturmaktadır. Sülfür içeren maden atıkları, hava ve suyla temas ettiklerinde sülfürik asit oluşturarak asit maden drenajına (AMD) neden olur. Bu asidik sular, çevredeki toprak ve yeraltı suyunu kirlettiği gibi, çalışanlar için cilt, göz ve solunum yollarında tahrişe yol açabilir. Flotasyon ve benzeri işlemler sonucu ortaya çıkan kurşun, arsenik ve kadmiyum gibi ağır metaller, atık

alanlarında yüksek konsantrasyonlarda birikerek doğrudan temas veya soluma yoluyla toksik etkiler gösterebilir. Ayrıca sulak ve organik içerikli atık bölgelerinde mikroorganizma faaliyetleri sonucu zararlı biyolojik maddeler ortaya çıkabilir. Bu durum cilt enfeksiyonları, solunum rahatsızlıkları ve bağışıklık sistemi baskılanması gibi sağlık sorunlarına yol açabilir (Williams; 2021).

Ergonomik, mekanik ve psikososyal riskler ise çalışma koşullarının doğrudan sonucu olarak karşımıza çıkar. Madencilik sonrası rehabilitasyon sahaları genellikle ulaşımı zor, zemin açısından tehlikeli ve altyapıdan yoksun alanlardır. Bu şartlar altında uzun süreli açık alan çalışmaları hem ergonomik zorlanmalara hem de ısı stresi gibi çevresel rahatsızlıklara neden olabilir (Boğa; 2012). Ayrıca bu projelerde çalışanların çoğu geçici ve eğitim düzeyi yetersiz kişilerden oluşmakta; kişisel koruyucu donanımın etkin kullanılamaması, ekipman güvenliğinin sağlanamaması gibi ciddi güvenlik açıklarına yol açmaktadır. Bu durum, psikososyal risk faktörlerini artırmakta ve çalışanlarda stres, tükenmişlik gibi sorunlara yol açmaktadır (IŞIK ve ark.; 2022). Rehabilitasyon sahalarının genişliği nedeniyle zaman zaman yalnız çalışmak zorunda kalan personelin, acil bir durumda geç müdahale riskiyle karşı karşıya kaldığı da bilinmektedir. Tüm bunlara ek olarak, üretimle doğrudan ilişkili olmayan bu faaliyetlerde İSG'nin ikinci plana atılması ve kaynak yetersizliği, güvenlik kültürünün geri planda kalmasına neden olabilmektedir (Manero ve ark.; 2020).

Uzun vadeli riskler ve izleme eksiklikleri, maden kapatıldıktan sonra da İSG açısından dikkate alınması gereken unsurlar arasında yer alır. Baraj stabilitesi, gaz salınımları ve ağır metal sızması gibi süreçlerin izlenmemesi, sadece çevresel değil, teknik personel için de doğrudan sağlık riski oluşturur. Ayrıca, atık sahalarından yayılan toz, ağır metal sızıntıları veya patlamamış ekipmanlar nedeniyle sahaya yakın yerleşimlerde yaşayan halk da dolaylı olarak

risk altındadır. Bu durum yalnızca iş güvenliği değil, toplumsal sağlık ve kurumsal sorumluluk açısından da değerlendirilmelidir (Williams; 2021).

Bu bağlamda, madencilik sonrası faaliyetlerde İSG yönetimi yalnızca kısa vadeli önlemlerle sınırlı kalmamalı; uzun vadeli izleme sistemleri ve sürdürülebilir risk yönetimi ilkeleriyle desteklenmelidir. Avrupa Birliği uygulamalarında olduğu gibi, sahaların kapatılmasından önce ve sonra İSG'nin süreçlere entegre edilmesi, düzenli risk analizlerinin yapılması ve saha verilerine dayalı izleme sistemlerinin kurulması hayati önemdedir (European Commission; 2006).

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışma kapsamında, cevher hazırlama tesislerinde oluşan maden atıkları ile madencilik sonrası faaliyetlerde ortaya çıkan iş sağlığı ve güvenliği (İSG) riskleri, literatür temelli bir yaklaşımla değerlendirilmiştir. Elde edilen bulgular ışığında şu temel sonuçlara ulaşılmıştır:

- Cevher hazırlama sürecinde meydana gelen maden atıkları, özellikle toz emisyonları, kimyasal kalıntılar ve mekanik ekipman kaynaklı kazalar açısından yüksek risk taşımaktadır. Bu atıkların geçici veya kalıcı depolama alanları, çalışan sağlığı için potansiyel tehlike oluşturmaktadır.
- Madencilik sonrası faaliyetler, üretim sürecine kıyasla daha az görünür olmakla birlikte, özellikle göçük, asit maden drenajı (AMD), ağır metal maruziyeti ve uzun vadeli izleme eksiklikleri açısından kritik İSG riskleri barındırmaktadır.
- Uluslararası literatürde, özellikle gelişmiş ülkelerde İSG önlemleri madencilik sonrası döneme de entegre edilmişken; gelişmekte olan ülkelerde bu döneme ilişkin düzenlemelerin ve uygulamaların sınırlı kaldığı görülmektedir.
- Türkiye'de yaşanan olaylar (Kütahya Gümüşköy siyanür barajı kazası, Mazıdağı fosfat tesisi çevresel etkileri vb.) İSG sistemlerinin yeterince

yapılandırılmadığını ve özellikle rehabilitasyon süreçlerinin etkin izlenmediğini göstermektedir.

Politika ve Uygulama Önerileri

- İSG'nin Rehabilitasyon Süreçlerine Entegre Edilmesi: Maden sahalarının kapatılması ve rehabilitasyonu sırasında yapılacak tüm çalışmalarda İSG politikalarının üretim süreci kadar güçlü şekilde uygulanması sağlanmalıdır. Rehabilitasyon projelerinde İSG sorumluluğu açıkça tanımlanmalı ve bu sürece özel risk analizleri yapılmalıdır.
- Atık Sahalarına Yönelik Sürekli İzleme Sistemleri Kurulmalı: Atık depolama alanlarının uzun vadeli etkileri göz önünde bulundurularak, sızıntı izleme, gaz salınımı tespiti ve baraj stabilitesi için sürekli izleme ekipmanları kurulmalı ve denetlenmelidir.
- Geçici ve Proje Bazlı İş Gücü İçin Eğitim Programları Oluşturulmalı: Rehabilitasyon sürecinde çalışan geçici personel için özel İSG eğitim programları zorunlu hale getirilmeli; kişisel koruyucu donanım kullanımı ve davranışsal güvenlik konularında bilinç artırılmalıdır.
- İSG ve Çevre Mevzuatı Entegre Edilerek Güncellenmeli: Maden Atıkları Yönetmeliği, Çevresel Etki Değerlendirmesi (ÇED) süreçleri ve İSG Kanunu birlikte değerlendirilerek, rehabilitasyon dönemine özel mevzuat düzenlemeleri yapılmalıdır.
- Uluslararası İyi Uygulamalar Rehber Olarak Alınmalı: AB'nin 2006/21/EC sayılı Maden Atıkları Direktifi, saha güvenliği ve davranışsal eğitim modeli gibi uygulamalar örnek alınarak Türkiye'ye özgü uyarlamalar geliştirilebilir.
- Akademik ve Sektörel İş birlikleri Artırılmalı: Üniversiteler, kamu kurumları ve özel sektör arasında bilgi paylaşımına dayalı projeler geliştirilmeli; maden mühendisliği, çevre mühendisliği ve iş sağlığı alanında disiplinler arası araştırmalar desteklenmelidir.

Bu öneriler ışığında, madencilik sonrası faaliyetlerin yalnızca çevresel değil, aynı zamanda iş sağlığı ve güvenliği açısından da sistematik şekilde planlanması gerektiği vurgulanmalıdır. Çalışma, İSG'nin maden yaşam döngüsünün yalnızca üretim değil, "kapatma ve sonrası" süreçlerinde de temel bir unsur olduğunu ortaya koymaktadır.

KAYNAKLAR

Bayraktar, B.; Uyguçgil, H. ve Konuk, A. 2018. Türkiye Madencilik Sektöründe İş Kazalarının İstatistiksel Analizi.: Bilimsel Madencilik Dergisi 57: 85–90, https://doi.org/10.30797/madencilik.493212.

Bilim, N.; Dündar, S. ve Bilim, A. 2018. Ülkemizdeki Maden Sektöründe Meydana Gelen İş Kazası ve Meslek Hastalıklarının Analizi.: BEÜ Fen Bilimleri Dergisi 7(2): 423–432.

Boğa, B. 2012. Açık ocak yöntemi ile çalışılan bir madende ergonomik risklerin değerlendirilmesi.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. 2012. 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. Ankara, https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6331&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5 [Son erişim tarihi: 24.04.2025].

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. 2017. Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliği, https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=18858&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5 [Son erişim tarihi: 24.04.2025].

Duan, Z.; Chen, J.; Xie, J.; Li, Q.; Zhang, H. ve Chen, C. 2024. Study on the Evolution Characteristics of Dam Failure Due to Flood Overtopping of Tailings Ponds.: Water (Switzerland) 16(17), https://doi.org/10.3390/w16172406.

Enerji ve Tabii Kaynaklar Bakanlığı. 1985. 3213 Sayılı Maden Kanunu, https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=3213&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5 [Son erişim tarihi: 24.04.2025].

European Commission. 2006. Directive 2006/21/EC on the management of waste from extractive industries, https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32006L0021 [Son erişim tarihi: 28.04.2025].

Hacıfazlıoğlu, H. ve Şahin, H. 2023. Cevher Hazırlama Tesislerinden Çıkan Atıklar ve Yönetimi.: Fırat Üniversitesi Mühendislik Bilimleri Dergisi 35(1): 119–133, https://doi.org/10.35234/fumbd.1170187.

IŞIK, İ.; ÖZ AKTEPE, Ş.; ÇETİN ÖZBUDAK, E.; CEYLAN, F.; KUZDAĞ, Y. ve DÖNMEZ, A. 2022. Kömür madenlerinde psikososyal güvenlik çalışmaları: maden mühendisleri ve iş

güvenliği uzmanları gözünden nitel değerlendirme.: Sosyal Guvence, https://doi.org/10.21441/sosyalguvence.1026839.

Maden ve Petrol İşleri Genel Müdürlüğü (MAPEG). 2022. Maden Yönetmeliği, https://mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=39873&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5 [Son erişim tarihi: 24.04.2025].

Manero, A.; Kragt, M.; Standish, R.; Miller, B.; Jasper, D.; Boggs, G. ve Young, R. 2020. A framework for developing completion criteria for mine closure and rehabilitation.: Journal of Environmental Management 273: 111078, https://doi.org/10.1016/J.JENVMAN.2020.111078

Walle, M. ve Jennings, N. 2001. Safety & health in small-scale surface mines, a handbook. International Labour Office, https://www.ilo.org/publications/safety-and-health-small-scale-surface-mines-handbook [Son erişim tarihi: 28.04.2025].

Williams, D.J. 2021. Lessons from tailings dam failures—where to go from here? Minerals 11(8), https://doi.org/10.3390/min11080853.

Yıldız, N. 2025. Cevher Hazirlama Tesislerinde is Guvenligi, https://www.researchgate.net/publication/387994470.

MADEN İŞLETMELERİNDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ İKLİMİNİN GELİŞTİRİLMESİ PROJESİ TANITIMI: ÖRNEK ÇALIŞMA-1. FAZ SONUÇLARI

CASE STUDY ON IMPROVING OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY CLIMATE IN MINES

C. Okay Aksoy, Kerim Küçük, Erkan Güler, A. Hamdi Deliormanlı
Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

G. Gülsev Uyar Aksoy
Hacettepe Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara

Ali Burak Aktaş, Yavuz Aydemir, Alper Aruer, Ömer Faruk Yıldız, Bilge Küçükaytan, Yasin Dağ, Levent Necipoğlu, Hüseyin Koç, Çağrı Ökten, Yahya Kemal Uzuner
Tümad Madencilik Sanayi ve Ticaret A. Ş. Ankara

ÖZ: Madencilik sektörü en tehlikeli iş kolları arasındadır. Ülkemizdeki madencilik koşulları maalesef istenen seviyede değildir. Özellikle madencilik sektöründeki çalışanların çok önemli bir bölümü İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) ikliminden habersizdir. Oysa ki İSG iklimi, bir işletmedeki iş kazalarının önüne geçilmesindeki en önemli unsurlar arasındadır. İSG iklimi iyileştirme çalışmaları devamlılık arz eder ve hiçbir zaman sona ermez. Aslında İSG iklimi; bir iş yerindeki İSG kültürünün, İSG'ye bakış açısının İSG'nin yalnızca iş yerinde uyulması gereken kurallardan ibaret olmadığını, İSG'nin bütün yaşam alanlarında doğal olarak yaşama biçiminin gelişmesi ve sürdürülebilir olmasını sağlayan oldukça önemli bir unsurdur.
Bu bildiride, 4 Fazdan oluşan ve TÜMAD Madencilik Sanayi ve Ticaret A.Ş.'ye ait iki işletmede sürdürülen İSG İKLİMİNİN GELİŞTİRİLMESİ projesinin tanıtımı ve sadece Faz-1'e ait sonuçlar sunulacaktır. Bu bildiride verilecek olan bilgiler 2022 yılında alınan sonuçlardır. Bu tarihte işletmelerin devreye alınması üzerinden 4 yıl geçmişti ve o tarihlerde çalışanların %70-80 yöre halkından ve hiç işyeri kültürü olmayan kişiler olduğu ve bir kültür oluşturulması sürecinin daha erken fazları olduğu göz önünde bulundurulmalıdır. İSG İklimini iyileştirme ve bu kapsamda kültüründe geliştirilmesi çalışmaları 3. Faz ile devam etmektedir.

Anahtar Kelimeler: İSG İklimi, İSG Kültürü, Sürdürülebilir İSG

ABSTRACT: *The mining sector is one of the most hazardous occupations. Unfortunately, the working conditions in our country's mining industry do not meet the necessary standards. Many workers in this sector are unaware of the*

importance of Occupational Health and Safety (OHS) climate. However, creating a strong OHS climate not only prevents occupational accidents but also reduces costs, increases productivity, improves teamwork and, most importantly, makes employees feel psychologically safe.
Improving the OHS climate is an ongoing process and should never be considered complete. In fact, a robust OHS climate is fundamental to cultivating a culture of safety at work. This involves recognising that OHS guidelines are not merely rules to follow but a vital aspect of promoting and sustaining a healthy approach to safety in all areas of life.
This paper introduces the IMPROVEMENT OF OHS CLIMATE project, which consists of 4 phases and is carried out in two enterprises belonging to TÜMAD Mining Industry and Trade Inc.. Only the results of Phase 1 will be presented. The information to be given in this report is the results obtained in 2022. On this date, 4 years had passed since the enterprises were put into operation, and it should be taken into account that 70-80% of the employees at that time were local people and people who had no workplace culture, and that the process of creating a culture was in its early phases. The studies for improving the OHS Climate and developing the culture in this context continue with the 3rd Phase.

Keywords: *OHS Climate, OHS Culture, Sustainable OHS*

1. PROJENİN TANITIMI

İş Sağlığı ve Güvenliği İkliminin Geliştirilmesi Projesi asla bir risk analizi, kaza analizi ya da bir olumsuzluğu tartışmayı amaçlamaz. Bu proje, farklı kültürlerden, farklı eğitim seviyelerinden gelen ve farklı meslekleri icra eden maden çalışanlarının daha güvenli bir ortam yaratmasını sağlamayı amaçlamaktadır. Bu proje 4 Fazdan oluşmaktadır. Birinci faz işletmelerde çalışanların (mavi yaka ve beyaz yaka) İSG Olgunluk seviyelerini matematiksel ve istatistiksel olarak ortaya koymayı hedeflemiştir. Aynı zamanda, işletmelerdeki İSG iklimi ve kültürü incelenmiştir. Bu bölümde belirlenenler çerçevesinde işletmelerdeki iklim ve kültür olgunlukları belirlenmeye çalışılmıştır. 2. Fazda ise, her iki işletme için gelişmeye açık yönler ve gelişmesi gereken yönler için işletmelerin iklim seviyelerine göre bir yol haritası belirlenmiş, geçen sürede İSG Olgunluk Seviyesindeki değişim incelenmiştir. 3. Fazda da belirlenen yol haritası kapsamında işletmelerin İSG ikliminin geliştirilmesi ve bu sayede güvenli, verimli, kaliteli bir üretim için yapılması gerekenler çerçevesinde eğitimin

davranışa dönüştürülmesi için çaba sarfedilecektir. Dördüncü fazda ise çalışanların Psikolojik Güvenlik Seviyeleri üzerinde araştırmalar yapılacak ve Hata Toplantıları gerçekleştirilecektir.

Bahse konu olan projenin ilk aşaması olan Faz-1 sonuçlarının alındığı dönem 2022 yılıdır. Bu dönemde işletmelerdeki çalışanların çok önemli bir bölümü daha önce herhangi bir iş yerinde çalışmamız, tarım ve hayvancılık sektöründe çalışan kişilerden oluşmaktadır. Projenin 2. Fazı kapsamında alınan aksiyonlar ve sonrasında 3. Faz süreci ile yapılan önerilerle İSG İklimi iyileştirme çalışmaları devam etmektedir.

Öncelikle İSG İklimine dair literatür bilgiye bakmakta yarar vardır. İSG iklimi ile ilgili pek çok tanıma rastlamakla beraber, üzerinde fikir birliğine varılan en genel tanım ise iş ortamında çalışanların iş güvenliğine yönelik algısıdır.

İSG iklimi ile ilgili ilk tanımlama 1980'de Zohar tarafından yapılmıştır. Zohar'a göre güvenlik iklimi "**çalışanların iş çevresi hakkında paylaşmış oldukları bütüncül algılarının bir özeti**" olarak tanımlamıştır (Flin 2007, Çelik 2014).

İSG iklimi çalışanların işyerinde iş güvenliğine ilişkin inanç ve algılarının özeti ve işyerindeki iş güvenliğine göre çalışanların davranış biçimlerinin tahminidir. Cox ve Flin (1998) İSG iklimi kavramını çalışanların tutum ve davranışlarını açıklayan güvenlik kültürü kavramının bir yansıması olarak ele almaktadır (Mearns, vd, 2003; Çelik, 2014). İSG iklimi, çalışanların işletmedeki güvenliğe ilişkin bakış açısından, İSG kültürü de çalışanların iş çevresiyle olan ilişkilerinden meydana gelen daha genel bir tanımı ifade etmektedir (Guldenmund, 2007).

İSG iklimi hızlı değişir, liderlikten daha hızlı etkilenir. Bu açıdan bakıldığında iklimi değiştirmekle kolay şekilde işler yoluna konulabilir gibi gözükse de değişen iklimin kültüre dönüşmesi oldukça uzun bir süreç gerektirir. Bu durumda, liderin önemi de açıkça ortaya çıkmaktadır.

İşletmelerde meydana gelen büyük kazalardan sonra kültürden ziyade iklimde önemli değişikliklere gidilir. İSG iklimi ilk olarak 1980 yılında Zohar'ın İsrail'de üretim işinde çalışanların güvenli davranışını araştırması ile başlamıştır (Fang ve Wu, 2013). İSG iklimi örgüt ikliminin özel bir biçimi olarak tanımlanmakta ve örgütün değer, norm, inanç, prosedür ve uygulamalar hakkında paylaştıkları algılardır. Güvenlik iklimi kavramı çalışanların bireysel algılarını etkilediğinden dolayı önemlidir.

Örgütler birden fazla amacı ve bu amaçlara ulaşma aracı olduğundan dolayı üst düzey yönetim müşteri hizmeti, ürün kalitesi ve çalışan güvenliği gibi konularında politika geliştirir. Bu nedenle güvenlik iklimi; güvenlik politikası, prosedür ve uygulamalarına yönelik paylaşılan algılarla ilişkili bir kavramdır (Zohar 2008, Çelik 2014).

1.1. İSG İklimi Projesi: Faz 1

İSG iklimi, çalışanların güvenlik politikaları, prosedürleri, uygulamaları ve işyeri güvenliğinin önemi ve önceliğine ilişkin ortak algılarıdır. Bir organizasyondaki güvenlik durumunu gösteren ve güvenlik performansını ölçmek için kullanılabilen organizasyonel iklimin bir parçasıdır.

Güvenlik iklimi çok boyutlu bir faktördür ve işyerlerinde güvenliğin önemli bir öncülü olarak kabul edilebilir. Güvenlik ortamının ölçülmesi, belirli bir zaman noktasında kuruluşun güvenlik durumunun bir anlık görüntüsünü sağlamaktadır.

Çalışma kapsamında, TÜMAD Madencilik A.Ş.'ye ait Çanakkale-Lapseki ve Balıkesir-İvrindi Altın ve Gümüş Madenlerinde iş güvenliği anlayışı, güvenlik ikliminin değerlendirilmesine yönelik olarak çalışmalar yapılmıştır. Çalışmada katılımcıların yaşı, cinsiyeti, idari pozisyonu ve genel sonuçlara göre güvenlik iklimi değerlendirmesi yapılmıştır.

İSG ikliminin hali hazırdaki durumunu belirleyebilmek adına, güvenlik ikliminin değerlendirilmesine yönelik olarak NOSACQ-50 güvenlik kültürü çalışması örnek alınarak işletmenin özelliklerine göre bazı değişiklikler yapılarak

yedi temel değer tanımlanmıştır ve çalışmalar bu kapsamda değerlendirilmiştir. Bunlar; Sosyal katılım, Adalet, Güven (daha sonraki fazlarda Psikolojik Güvenlik olarak adlandırılacaktır), Sürdürülebilirlik, Katılım, Direnç ve Esneklik, Gelişme ve Büyüme

Bu temel değerlerin her biri İSG ikliminin gelişimi için önemlidir ve her birinin İSG iklimi üzerinde doğrudan ve dolaylı etkisi olup, aynı zamanda şirketin iş başarısına da diğer bir deyişle güvenli-verimli-kaliteli üretime katkıda bulunurlar. Bunun yanında, bu temel değerler çalışanın Psikolojik olarak kendini güvende hissetmesine yardımcı olacak sonuçları da beraberinde getirirler. Projenin 1. Fazında, yukarıdaki 7 temel değeri göz önünde bulundurarak İSG İklimini ölçebilmek adına araştırmalar 7 ana kategoride detaylandırılmıştır. Bunlar;

Kategori 1 - Yönetimin güvenlik önceliği ve yeteneği

Kategori 2 - Yönetimin güvenliği desteklemesi

Kategori 3 - Yönetim güvenlik adaleti

Kategori 4 - Çalışanların güvenlik taahhüdü

Kategori 5 - Çalışanların güvenlik önceliği ve risk almayı kabul etmemeleri

Kategori 6 – Çalışanların güvenlik iletişimi ve iş arkadaşlarının güvenlik yeterliliğine güvenleri

Kategori 7 - Çalışanların güvenlik sistemlerinin etkinliğine güvenleri

TÜMAD Madencilik A.Ş.'ne ait İvrindi ve Lapseki Altın ve Gümüş Madenleri'nde iş sağlığı ve güvenliği (İSG) kültür ve iklimini araştırmak üzere her iki işletmedeki beyaz yaka ve mavi yaka çalışanlara yönelik yapılan ve 7 alt kategoriden oluşan çalışmadan elde edilen sonuçların güvenilirliği belirlenmiş ve hesaplanan Cronbach's alfa katsayıları Çizelge 1– Çizelge 4'te sunulmuştur.

Cronbach's alfa katsayılarının değerlendirme ölçütü;

$0{,}00 \leq \alpha \leq 0{,}40$ ise güvenilir değil

$0{,}40 \leq \alpha \leq 0{,}60$ ise düşük güvenilirlikte

$0{,}60 \leq \alpha \leq 0{,}80$ ise oldukça güvenilir

$0{,}80 \leq \alpha \leq 1{,}00$ ise yüksek derecede güvenilir şeklindedir.

Çizelge 1. İvrindi İşletmesi Beyaz Yaka için Güvenilirlik Analizi Sonuçları

Kategori	**Geçerli Katılan Sayısı**	**Geçersiz Katılan Sayısı**	**Toplam Katılan Sayısı**	**Cronbach's Alfa Değerleri**
1. Yönetimin güvenlik önceliği ve yeteneği	63	8	71	0.90
2. Yönetimin güvenliği desteklemesi	68	3	71	0.91
3. Yönetimin güvenlik adaleti	69	2	71	0.80
4. Çalışanların güvenlik taahhüdü	68	3	71	0.72
5. Çalışanların güvenlik önceliği ve risk almayı kabul etmemeleri	67	4	71	0.85
6. Çalışanların güvenlik iletişimi ve güvenlik yeterliliğine güvenleri	69	2	71	0.89
7. Çalışanların güvenlik sistemlerinin etkinliğine güveni	68	3	71	0.83

Çizelge 2. İvrindi İşletmesi Mavi Yaka için Güvenilirlik Analizi Sonuçları

Kategori	**Geçerli Katılan Sayısı**	**Geçersiz Katılan Sayısı**	**Toplam Katılan Sayısı**	**Cronbach's Alfa Değerleri**
1. Yönetimin güvenlik önceliği ve yeteneği	140	15	155	0.81
2. Yönetimin güvenliği desteklemesi	146	9	155	0.82
3. Yönetimin güvenlik adaleti	144	11	155	0.74
4. Çalışanların güvenlik taahhüdü	142	13	155	0.63
5. Çalışanların güvenlik önceliği ve risk almayı kabul etmemeleri	147	8	155	0.65
6. Çalışanların güvenlik iletişimi ve güvenlik yeterliliğine güvenleri	147	8	155	0.86
7. Çalışanların güvenlik sistemlerinin etkinliğine güveni	139	16	155	0.84

Çizelge 3. Lapseki İşletmesi Beyaz Yaka için Güvenilirlik Analizi Sonuçları

Kategori	**Geçerli Katılan Sayısı**	**Geçersiz Katılan Sayısı**	**Toplam Katılan Sayısı**	**Cronbach's Alfa Değerleri**
1. Yönetimin güvenlik önceliği ve yeteneği	111	2	113	0.84
2. Yönetimin güvenliği desteklemesi	108	5	113	0.84
3. Yönetimin güvenlik adaleti	111	2	113	0.71
4. Çalışanların güvenlik taahhüdü	109	4	113	0.64
5. Çalışanların güvenlik önceliği ve risk almayı kabul etmemeleri	112	1	113	0.69
6. Çalışanların güvenlik iletişimi ve güvenlik yeterliliğine güvenmeleri	108	5	113	0.82
7. Çalışanların güvenlik sistemlerinin etkinliğine güvenmeleri	111	2	113	0.70

Çizelge 4. Lapseki İşletmesi Mavi Yaka için Güvenilirlik Analizi Sonuçları

Kategori	Geçerli Katılan Sayısı	Geçersiz Katılan Sayısı	Toplam Katılan Sayısı	Cronbach's Alfa Değerleri
1. Yönetimin güvenlik önceliği ve yeteneği	189	13	202	0.78
2. Yönetimin güvenliği desteklemesi	195	7	202	0.77
3. Yönetimin güvenlik adaleti	194	8	202	0.79
4. Çalışanların güvenlik taahhüdü	192	10	202	0.60
5. Çalışanların güvenlik önceliği ve risk almayı kabul etmemeleri	188	14	202	0.66
6. Çalışanların güvenlik iletişimi ve güvenlik yeterliliğine güvenmeleri	194	8	202	0.79
7. Çalışanların güvenlik sistemlerinin etkinliğine güvenmeleri	190	12	202	0.74

İşletmelerde çalışanların iş sağlığı ve güvenliği kültürüne ait alt kategorileri ortalamalarının değişkenlik gösterip göstermediğini belirlemek üzere **Kruskal Wallis Testi** uygulanmıştır. Kruskal Wallis Testi, tek yönlü ANOVA'nın non-parametrik karşılığıdır (İki ya da daha çok örneklem ortalamasının birbirinden manidar bir farklılık gösterip göstermediğinin test edilmesinde kullanılır). Buna göre İvrindi işletmesindeki tüm çalışanlarının statüsüne (beyaz-mavi yaka), beyaz yaka ve mavi yaka çalışanların ayrı ayrı yaş gruplarına ve mavi yaka çalışanların görev yaptıkları birime yönelik uygulanan Kruskal Wallis test sonuçları Çizelge 5 ve 6'da verilmektedir. Çizelge 5 incelendiğinde, İvrindi işletmesinde beyaz yakalı çalışanlarla mavi yakalı çalışanların "Yönetimin güvenliği desteklemesi", "Yönetimin güvenlik adaleti", "Çalışanların güvenlik önceliği ve risk almayı kabul etmemeleri" ve "Çalışanların güvenlik sistemlerinin etkinliğine güveni" kategorilerinde çok önemli ölçüde ($p < 0.01$) farklılaştığı görülmektedir.

Lapseki işletmesinde ise beyaz yakalı çalışanlarla mavi yakalı çalışanların "Yönetimin güvenliği desteklemesi" ve "Yönetimin güvenlik adaleti" kategorilerinde çok önemli ölçüde ($p < 0.01$), "Yönetimin güvenlik önceliği ve yeteneği", "Çalışanların güvenlik önceliği ve risk almayı kabul etmemeleri" ve "Çalışanların güvenlik iletişimi ve güvenlik yeterliliğine güvenleri" kategorilerinde önemli ölçüde ($p < 0.05$) farklılaştığı anlaşılmaktadır (Çizelge 6).

Çizelge 5. İvrindi Statü (BY-MY) Kruskal Wallis Testi Sonuçları

	Kategori 1	**Kategori 2**	**Kategori 3**	**Kategori 4**	**Kategori 5**	**Kategori 6**	**Kategori 7**
Kruskal-Wallis H	0.002	7.349	9.212	0.000	12.170	1.874	7.119
df	1	1	1	1	1	1	1
Asymp. Sig. (*p*)	0.963	0.007	0.002	0.990	0.000	0.171	0.008

Çizelge 6. Lapseki Statü (BY-MY) Kruskal Wallis Testi Sonuçları

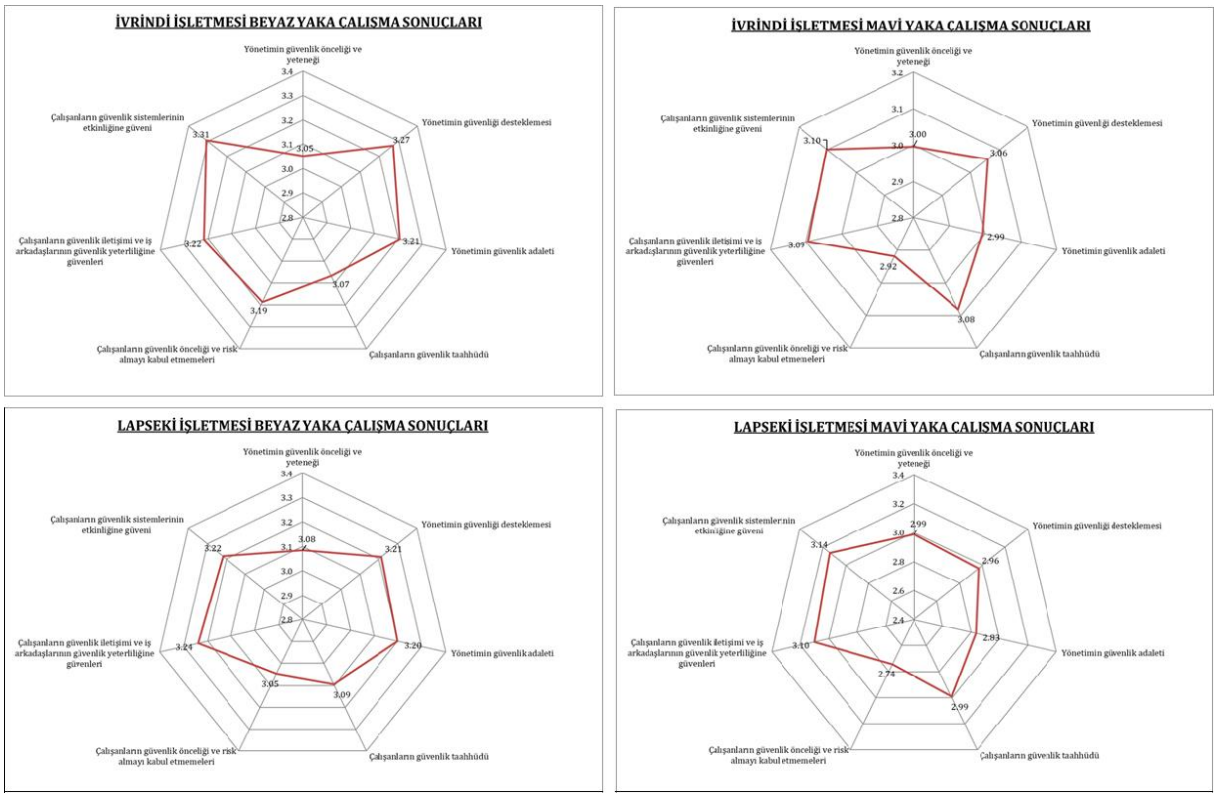
	Kategori 1	**Kategori 2**	**Kategori 3**	**Kategori 4**	**Kategori 5**	**Kategori 6**	**Kategori 7**
Kruskal-Wallis H	4.667	14.746	29.846	1.884	6.522	5.436	1.394
df	1	1	1	1	1	1	1
Asymp. Sig. (*p*)	0.031	0.000	0.000	0.170	0.011	0.020	0.238

Kategorilere göre İSG İklim araştırması sonuçlarının yorumlanmasında kullanılan kriterler aşağıda verilmektedir Çizelge 7). Hesaplanan boyutların sonuç değerlerine göre yorum ve değerlendirmeler yapılarak katılımcıların güvenlik iklimi algılarının ölçülmesi hedeflenmiştir.

Çizelge 7. İSG İklim çalışması sonuçlarının yorumlanmasında kullanılan kriterler (NOSACQ-50)

Puan	**Seviye**	**Anlamı**
P > 3.30	İyi	İSG İkliminin korunması ve sürekli geliştirilmesi için iyi bir seviyeyi ifade eder
3.00 < P < 3.30	Orta	İSG İkliminin belirli iyileştirmelere ihtiyacı olan orta bir seviyeyi ifade eder
2.70 < P < 3.00	Düşük	İSG İkliminin ciddi bir iyileştirmeye ihtiyacı olan düşük bir seviyeyi ifade eder
P < 2.70	Çok Düşük	İSG İkliminin büyük bir iyileştirmeye ihtiyacı olduğunu ifade eder

Gerçekleştirilen çalışma sonrasında hem beyaz yaka hem de mavi yaka için her iki işletmede de elde edilen sonuçlar aşağıda Şekil 1'de verilmektedir.



Şekil 1. İvrindi ve Lapseki işletmelerinde hesaplanan İSG İklimi Seviyeleri

2. ÇALIŞMA SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ

TÜMAD Madencilik A.Ş.'ye ait Çanakkale-Lapseki ve Balıkesir-İvrindi Altın ve Gümüş Madenlerinde beyaz yaka ve mavi yaka personellerine yapılan iş ortamındaki İSG iklimi ve çalışanlardaki İSG kültürünün olgunluk seviyesinin hangi düzeyde olduğu belirlenmeye çalışılmıştır (Çizelge 8, 9).

Her iki işletmede, beyaz yaka üzerinde yapılan çalışmalar sonucunda İSG iklim ve kültürünün **orta seviyede** olduğu, İvrindi işletmesinin az da olsa (0.03 puan) Lapseki işletmesinden yüksek puan aldığı görülmektedir.

Her iki işletmedeki mavi yaka çalışmaları İSG iklimi puanına göre; İvrindi İşletmesinde 3.03 puan, Lapseki işletmesinde 2.96 puan hesaplanmıştır.

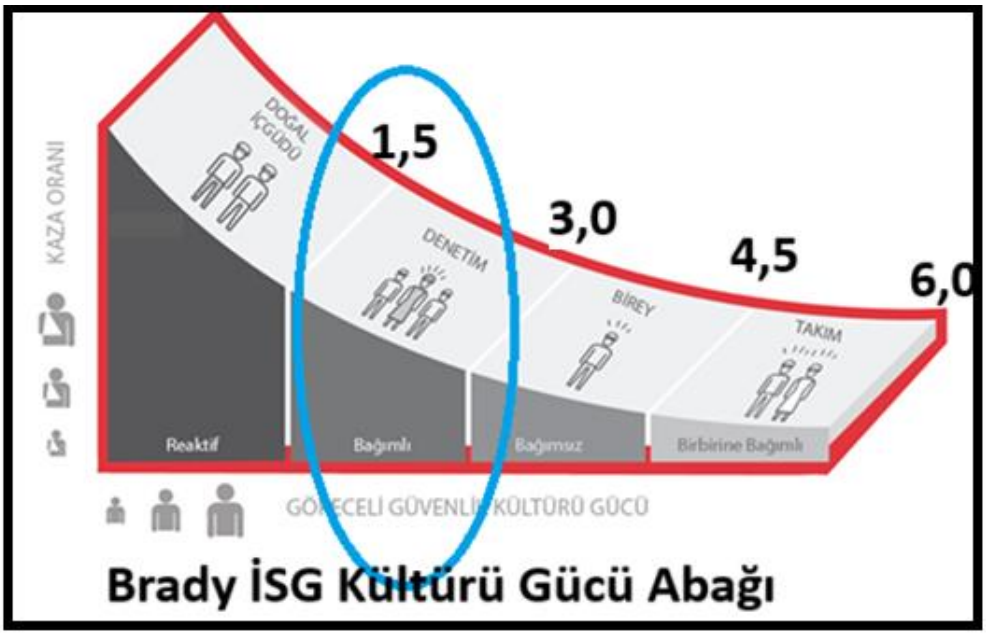
Çizelge 8. Lapseki ve İvrindi İşletmeleri Beyaz Yaka personeli çalışmalarının karşılaştırması

Kategoriler		**İvrindi Beyaz Yaka**	**Lapseki Beyaz Yaka**
1	Yönetimin güvenlik önceliği ve yeteneği	3.05 (orta)	3.08 (orta)
2	Yönetimin güvenliği desteklemesi	3.27 (orta)	3.21 (orta)
3	Yönetimin güvenlik adaleti	3.21(orta)	3.20 (orta)
4	Çalışanların güvenlik taahhüdü	3.07 (orta)	3.09 (orta)
5	Çalışanların güvenlik önceliği ve risk almayı kabul etmemeleri	3.19 (orta)	3.05 (orta)
6	Çalışanların güvenlik iletişimi ve iş arkadaşlarının güvenlik yeterliliğine güvenleri	3.22 (orta)	3.24 (orta)
7	Çalışanların güvenlik sistemlerinin etkinliğine güvenleri	3.31 (iyi)	3.22 (orta)
Ortalama İSG İklimi Puanı		**3.19 (ORTA)**	**3.16 ORTA)**

Çizelge 9. Lapseki ve İvrindi İşletmeleri Mavi Yaka personeli çalışmalarının karşılaştırması

Kategoriler		**İvrindi Mavi Yaka**	**Lapseki Mavi Yaka**
1	Yönetimin güvenlik önceliği ve yeteneği	3.00 (orta)	2.99 (düşük)
2	Yönetimin güvenliği desteklemesi	3.06 (orta)	2.96 (düşük)
3	Yönetimin güvenlik adaleti	2.99 (düşük)	2.83 (düşük)
4	Çalışanların güvenlik taahhüdü	3.08 (orta)	2.99 (düşük)
5	Çalışanların güvenlik önceliği ve risk almayı kabul etmemeleri	2.92 (düşük)	2.74 (düşük)
6	Çalışanların güvenlik iletişimi ve iş arkadaşlarının güvenlik yeterliliğine güvenleri	3.09 (orta)	3.10 (orta)
7	Çalışanların güvenlik sistemlerinin etkinliğine güvenleri	3.10 (orta)	3.14 (orta)
Ortalama İSG İklimi Puanı		**3.03 (ORTA)**	**2.96 (DÜŞÜK)**

Her iki işletmede de yapılan araştırmalar sonucunda işletmelerin İSG kültürü olgunluk seviyesi "**BAĞIMLI**" seviyede olduğu belirlenmiştir (Şekil 2).



Şekil 2. Lapseki ve İvrindi İşletmelerinde Beyaz ve Mavi Yaka İSG Kültürü Olgunluk Seviyesinin Brady Abağındaki Durumu

3. SONUÇLAR

Her iki işletmede de beyaz yakalı çalışanlarla mavi yakalı çalışanların güvenlik algılarının farklı olduğu görülmektedir. Buna göre İvrindi ve Lapseki işletmelerinde beyaz yakalıların İSG iklim puanı sırasıyla 3.19 ve 3.16 iken, mavi yakalıların İSG puanı sırasıyla 3.03 ve 2.96'dır. Bu durum beyaz yakalı çalışanların İSG farkındalıklarının mavi yakaya nazaran daha yüksek olduğu şeklinde yorumlanabilir. Ancak, kesinlikle İSG İklimi konusunda yeterli seviyede bir algıya sahip olmadıkları gerçeğini de görmek gerekir. Bu sonuç beklenen bir sonuçtur. Çünkü, mavi yakanın önemli bir bölümü (%70-80) daha önce bir işyeri tecrübesi ve kültürü olmayan, yerel halktan gelen ve tarım ve hayvancılıkla geçinen kişilerden oluşmaktadır. İSG İklimini geliştirmek İSG Kültürünü geliştirmekten daha kısa zaman almaktadır. Bu nedenle, proje süreci içerisinde İSG İklimine yapılacak dokunuşlar kendisini daha uzun süre içerisinde KÜLTÜR gelişmesini de sağlayacaktır. Bunun yanında, elde edilen sonuçlara bakıldığında

çalışmanın temeli oluşturan 7 alt kategori kapsamında mavi yakalı çalışanların kendilerini daha güvensiz hissettikleri şeklinde de yorumlanabilir.

Bu çalışmanın 2. Fazında her iki işletmenin İSG iklimi açısından gelişmeye açık yönleri ve gelişmesi gereken yönler tespit edilmiş ve bu gelişimlerin devam etmesi için izlenmesi gereken yol haritası ortaya konmuştur. 3. Faz da ise gelişmeye açık yönler ve gelişmesi gereken yönler için belirlenen yol haritasında yürümeye devam edilmektedir. Son aşamada ise işletmelerdeki psikolojik güvenlik çalışmaları ile "Hata Toplantıları" yapılarak çalışma sona erdirilecektir. Son aşama "Duyduğumu unuturum, Gördüğümü Yaparım, Yaptığımı Bilirim" anlayışıyla interaktif bir şekilde iklimi geliştirmeye yönelik olacaktır.

TEŞEKKÜR

Bu çalışmanın yapılması esnasında gerek maddi ve gerekse ayni olarak her türlü olanağı seferber eden TÜMAD MADENCİLİK SANAYİ VE TİCARET A.Ş. Yönetim Kuruluna Teşekkür ederiz.

KAYNAKLAR

Cox, S. J., ve Flin, R. (1998) "Safety Culture: Philosopher's Stone or Man of Straw?", Work and Stress, 12 (3), 189 - 201.

Çelik, E. (2014) Güvenlik Kültürünün Güvenlik Performansına Etkisi: İş Tatmininin Aracılık Rolü, Gazi Üniversitesi Sosyal Bilimler Enstitüsü, Yayınlanmamış Doktora Tezi, Ankara.

Fang, D. ve Wu, H. (2013) "Development of a Safety Culture Interaction (SCI) Model for Construction Projects", Safety Science, 57,138 - 149.

Flin, R. (2007) "Measuring Safety Culture in Healthcare: A Case for Accurate Diagnosis", Safety Science 45, 653 - 667.

Guldenmund, F. W. (2007) "The Use of Questionnaires in Safety Culture Research - An Evaluation", Safety Science, 45, 723-743.

Mearns, K., Whitekar, S. M.ve Flin, R. (2003) "Safety Climate, Safety Management Practice and Safety Performance in Offshore Environments", Safety Science, 41, 641 - 680.

The Nordic Council of Ministers Safety Climate Questionnaire—NOSACQ-50. (2020)

Zohar, D. (1980) "Safety climate in industrial organizations: theoretical and applied implications.", Journal of applied psychology, 65, 1, 96.

Zohar, D. (2008) "Safety Climate and Beyond: A Multi-level Multiclimate Framework", Safety Science, 46, 376-387.

BİR KÖMÜR AÇIK OCAĞI (ERZİNCAN-ÇAYIRLI) DÖKÜM SAHASI İÇİN ŞEV DURAYLILIĞININ DEĞERLENDİRİLMESİ

INVESTIGATION OF SLOPE STABILITY FOR A DUMP SITE OF SURFACE COAL MINE (ERZİNCAN-ÇAYIRLI)

Bahadır Şengün, Bülent Erdem, Atilla Ceylanoğlu
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Maden Mühendisliği Anabilim Dalı, Sivas

ÖZ: Açık işletme ocaklarında ve döküm sahalarında şev kaymalarının önlenmesine yönelik duraylılık analizlerinin yapılması büyük önem taşımaktadır. Bu çalışmada, bir açık işletme kömür ocağının döküm sahasında şev duraylılığının değerlendirilmesine yönelik gözlem, ölçüm ve incelemeler yapılmıştır. Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda döküm malzemesinin makaslama dayanım parametreleri belirlenmiştir. Şev duraylılığı analizleri için döküm sahasını temsil eden beş adet kesit hazırlanmıştır. Bu kesitler üzerinde denge sınır yöntemine dayanan iki boyutlu sayısal şev stabilite analizleri yapılmıştır. Analizler sonucunda genel şev açılarının 5.49°-38.80° değiştiği genel şevlerde, güvenlik faktörlerinin 0.747 ile 1.548 arasında olduğu belirlenmiştir. Kayma beklenen kesitler için güvenlik faktörünün 1.5 olduğu şev geometrisi önerilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Açık ocak döküm sahası, şev duraylılığı analizi, güvenlik faktörü.

ABSTRACT: *It is of great importance to perform stability analyses to prevent slope failures in open pit mines and dump areas. In this study, observations, measurements and investigations were carried out to evaluate the slope stability for a dump site of an open pit coal mine. As a result of the field and laboratory studies, the shear strength parameters of the dump material were determined. Five cross-sections representing the dumping area were prepared for slope stability analyses. Two-dimensional numerical analyses of slope stability were performed on these sections based on the limit equilibrium method. It was found that the factors of safety ranged between 0.747 and 1.548 for general slopes where the overall slope angles varied between 5.49° and 38.80°. For the sections where sliding is expected, a slope geometry with a safety factor of 1.5 was proposed.*

Keywords: *Dump areas of open pit mines, slope stability analysis, safety factor.*

1. GİRİŞ

Gerek ülkemizde gerekse dünyada açık işletme madenlerinde, döküm ve yığın liç sahalarında, atık barajlarında şev kaymaları nedeniyle iş kazaları meydana gelmektedir. Örneğin ülkemizde 2023 yılında Erzincan ilinin İliç ilçesinde bulunan bir altın açık işletmesinin yığın liç sahasında meydana gelen şev kayması sonucunda 9 maden işçisi hayatını kaybetmiştir. Yine 2019 yılında Muğla ilinin Milas ilçesindeki bir açık ocağında meydana gelen şev yenilmesinde sonucunda 3 kişi yaşamını yitirmiştir. Siirt ilinin Şirvan ilçesindeki bakır açık ocağında 2016 yılında, Afşin-Elbistan Kömür Havzası Çöllolar açık ocağında ise 2011 yılında meydana gelen şev kaymaları nedeniyle 16 ve 11 kişi yaşamını yitirmiştir.

Şev duraylılığı analizlerinin yapılması ve iş sağlığı ve güvenliği hususlarının dikkate alınması kazaların azalmasını, önlenmesini ve gerekli tedbirleri alınmasını sağlayabilecektir. Bu çalışma kapsamında, bir açık işletme kömür ocağı döküm sahasının, denge-sınır yöntemine göre sayısal şev duraylılığı analizi yapılmıştır.

2. DÖKÜM SAHASI MALZEMESİNİN BAZI ÖNEMLİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Erzincan ili, Çayırlı ilçesi, Çilhoroz köyü mevkiinde bulunan (Şekil 1) kömür açık ocağının döküm sahasının iki farklı noktasında iki adet sondaj yapılmış ve karotları sandıklanıp Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Maden Mühendisliği Bölümü Kaya Mekaniği Laboratuvarı'na getirilmiştir (Şekil 2). Bu karotlar ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve aşağıda verilen parametrelerin değerleri belirlenmiştir. Ayrıca yerinde birim ağırlık belirlenmesi için ölçüm çukuru açılmıştır. Döküm sahasında düzgün dikdörtgen prizma şeklinde açılan çukurun (Şekil 3) boyutları cm hassasiyetinde (En: 100 cm, Boy: 200 cm ve Derinlik: 100 cm) ölçülmüştür. Ayrıca sondaj karotlarının laboratuvarda birim ağırlıkları belirlenmiş ve deney sonuçları toplu halde Çizelge

1'de sunulmuştur. Diğer yandan, değişik ayrışma derecelerindeki (taze, az ve orta derecelerde) marn kaya birimlerinden oluşan dekapaj malzemesinin yerinde doğal birim ağırlıkları ise 2.31 – 2.80 g/cm³ arasında değişmektedir (Ceylanoğlu vd., 2024).

Şekil 1. Çilhoroz kömür açık ocağı döküm sahası

Çizelge 1. Yerinde ve laboratuvarda birim ağırlık belirleme deney sonuçları

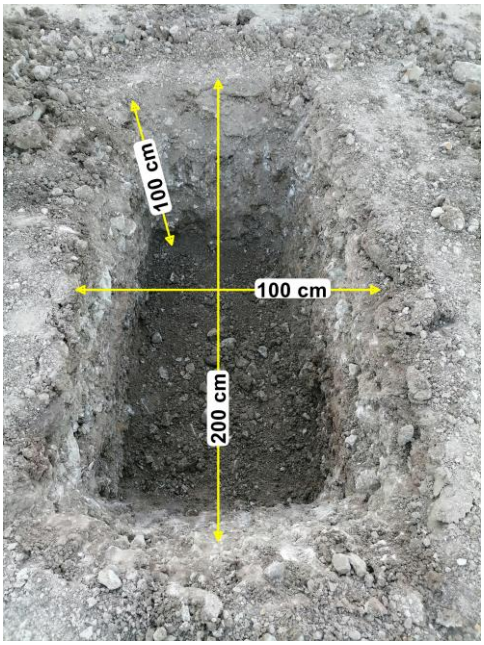
Deney Numunesi Yeri	Doğal Birim Ağırlık (g/cm³) [Deney adedi]	Deney Numunesi Yeri	Doğal Birim Ağırlık (g/cm³) [Deney adedi]
Ölçüm çukuru	1.860 [1]	2 no'lu sondaj (silindirik numunelerden)	1.890 [1]
1 no'lu sondaj (silindirik numunelerden)	2.08±0.13 (1.99 – 2.30)* [5]	2 no'lu sondaj (parça numunelerden)	1.93±0.05 (1.89 – 1.99)* [3]

* Minimum ve maksimum değerler parantez içinde verilmiştir.

a)1 nolu sondaj

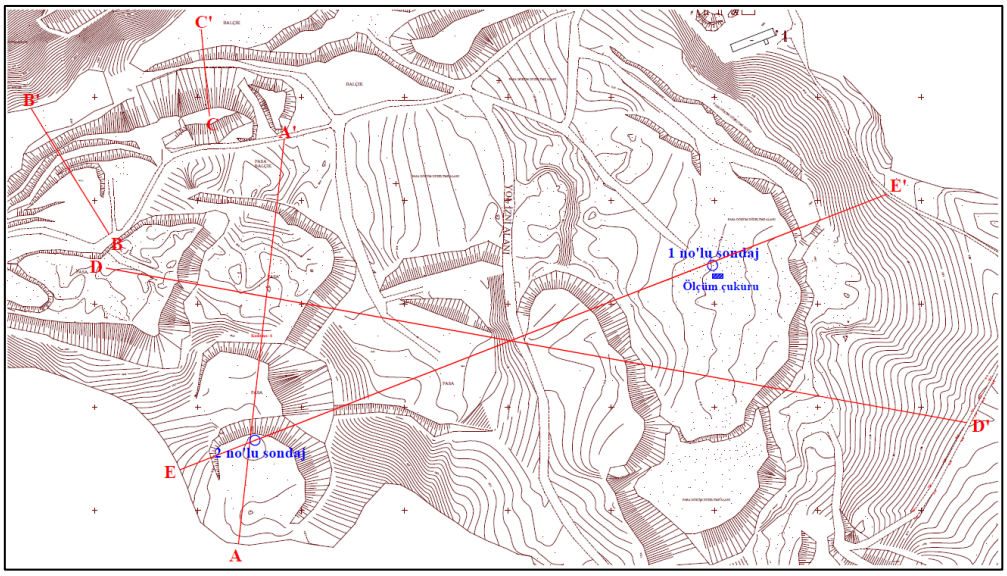
b) 2 nolu sondaj

Şekil 2. Sondaj karot numuneleri



Şekil 3. Yerinde birim ağırlık belirlemek için açılan ölçüm çukuru

Çilhoroz kömür açık ocağının döküm sahasının iki farklı noktasında (Şekil 4) açılan, 26.0 m ve 15.5 m boylarındaki iki adet sondajın karotları (Şekil 2) laboratuvarda ayrıntılı bir şekilde incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Değerlendirme sonuçları Çizelge 2'de verilmiştir. Sondaj karotlarının kaya kalitesi belirtecine göre sınıflandırılmasında Deere ve Miller (1966) sınıflamasından yararlanılmış ve tanımı Çizelge 3'te verilmiştir.



Şekil 4. Sondaj noktaları, ölçüm çukuru ve kesit hatları (ölçeksiz)

Çizelge 2. Kaya kalitesi belirteci değerleri

Özellikler	1 no'lu sondaj	2 no'lu sondaj
Toplam karot yüzdesi (%)	42.31	40.32
Sağlam karot yüzdesi (%)	30.85	34.19
Kaya kalitesi belirteci (%)	20.23	27.55

Çizelge 3. Sondaj karotlarının kaya kalitesi belirtecine göre sınıflandırılması (Deere ve Miller, 1966)

Kaya kalitesi	RQD (%)	1 no'lu sondaj	2 no'lu sondaj
Çok zayıf	0 – 25	Çok zayıf (20.23)	Zayıf (27.55)
Zayıf	25 – 50		
Orta	50 – 75		
İyi	75 – 90		
Çok iyi	90 – 100		

3. DÖKÜM SAHASI ŞEV STABİLİTE ANALİZLERİ

3.1. Genel

Gerek açık ocak gerekse döküm sahalarında şev duraylılığı; şev açıları, şev yükseklikleri, basamak genişlikleri, kaya veya zemin kütle ve malzeme özellikleri (özellikle birim ağırlık, kohezyon, içsel sürtünme), kaya kütlesinin jeolojik yapısı, gerilme koşulları, yeraltı suyu, tektonizma, patlatma kaynaklı sismik olaylar ile iklim ve ayrışma koşullarından önemli ölçüde etkilenmektedir.

Dekapaj döküm sahalarında, ocak sahasındaki kaya birimlerinde mevcut olan süreksizlikler (faylar, eklemler, tabakalanma düzlemleri, ezilme zonları vb.) bulunmamaktadır. Döküm sahalarında genellikle malzeme özelliklerine ve döküm geometrisine bağlı olarak dairesel kayma türü yenilmeler oluşmaktadır.
Şev stabilite analizleri sonucunda şev güvenlik faktörü (GF), şevi oluşturan malzemenin makaslama dayanım özellikleri (birim ağırlık, kohezyon ve içsel sürtünme açısı) kullanılarak belirlenmektedir. Bu parametreler; yerinde deneyler, laboratuvar deneyleri ve geriye dönük analizler yapılarak belirlenebilmektedir. Güvenlik faktörü, bir şevin stabilitesini nicel olarak değerlendirmek için yaygın olarak kullanılmakta olup şev kaymasına karşı koyan kuvvetlerin, kaymayı yönlendiren kuvvetlere oranı olarak tanımlanmaktadır. Denge durumunda GF ≥ 1 olmaktadır.

$$GF = \frac{Şev\ kaymasına\ karşı\ koyan\ kuvvetler}{Şev\ kaymasını\ yönlendiren\ kuvvetler}$$

Bu kapsamda, Erzincan ili, Çayırlı ilçesi, Çilhoroz köyü mevkiinde bulunan kömür açık ocağı döküm sahası için denge-sınır yöntemi esasına göre iki boyutlu sayısal şev stabilite analizleri yapılmıştır (Şengün vd., 2024). Kömür açık ocağı döküm sahası şevleri için özellikle oluşması beklenen dairesel kayma modeli ve güvenlik faktörünün en düşük değeri (GF≥1.50) dikkate alınmıştır. Birim ağırlık belirleme deney sonuçları (Çizelge 2), sondaj karotlarının değerlendirme sonuçları (Çizelge 3), kaya ve zeminlerdeki literatür değerleri (Shiyou vd., 2017,

Abdelmonem vd., 2023) dikkate alınarak döküm malzemesinin kohezyonu (c) 20 kPa ve içsel sürtünme açısı (ϕ) 20° alınmıştır. Anakaya marnda ise yerinde birim ağırlık 23.83 kN/m³, kohezyon (c) 50 kPa ve içsel sürtünme açısı (ϕ) için 30° değerleri kullanılmıştır.

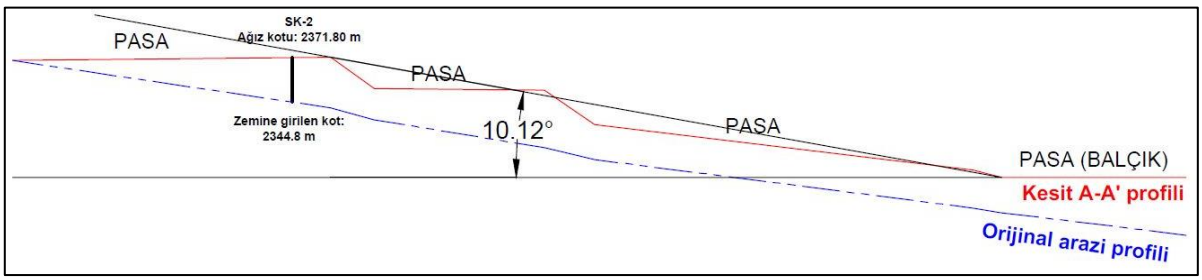
3.2. Şev Stabilite Analizi Kesitlerinin Hazırlanması

Döküm sahası şevlerinin duraylılığına dönük sayısal analizlerin yapılabilmesi amacıyla sahayı temsil eden doğrultular boyunca 5 adet kesit alınmıştır (Şekil 4). Bunlardan 2 adedi (doğu-batı doğrultusu boyunca döküm sahasının tüm tablalarına ait geometrik özellikleri ve basamak şev açılarını temsil edecek biçimde saha başlangıcından bitişine kadar uzatılmıştır. Güney-kuzey doğrultulu diğer 3 kesitten 1 adedi de bu doğrultu boyunca döküm tablalarının tüm geometrik boyutlarını gösterecek şekilde sahanın güney ucundan, ocakla birleşen kuzey ucuna kadar uzatılmış, kalan 2 kesit ise döküm sahasının ocak ile birleştiği sınır boyunca daha yüksek ve dik açılı nihai şevlerin duraylılık analizlerinde kullanılmak üzere kısa uzanımlı seçilmiştir.

Yaklaşık G-K doğrultulu A-A’ kesiti, döküm sahasının güneybatısındaki 2370.35 m kotlu bitiş noktasından başlatılmış ve 2 no’lu sondaj noktasından geçerek sahanın kuzeyindeki tablanın üzerinde (kot: 2331.23 m) sonlandırılmıştır. Kesit, ardışık 3 döküm tablasından geçmektedir. Kesit boyunca oluşan döküm tablası profili, ocağın 2024 yılı için hazırlanmış olan imalat haritası üzerinden, taban profili ise Google Earth™ uygulamasının 09 Eylül 2006 tarihli uydu verisi üzerinden çıkarılmış ve 2 no’lu sondajın derinlik verisi kullanılarak kalibre edilmiştir. Kesit A-A’, Şekil 5’te sunulmuştur.

Döküm sahasının kömür ocağı ile birleştiği kuzey sınırındaki şevlerin duraylılık analizlerinde kullanılan güneydoğu-kuzeybatı doğrultulu B-B’ kesiti, döküm sahasının kuzey bölümündeki tabla üzerinden başlamakta ve ocağın kömürlü bölgesi üzerinden kuzeybatı şevlerine kadar uzanmaktadır. Yaklaşık güney-kuzey doğrultulu C-C’ kesiti, döküm sahasının kuzey bölümündeki son

tabla üzerinden başlamakta ve ocağın kömürlü bölgesini gösteren zeminde sonlanmaktadır. Döküm sahasının yaklaşık doğu-batı doğrultusundan geçen 2 kesitten biri olan D-D' kesiti, döküm sahasının batı sınırına yakın olan 2356 m rakımlı tabladan başlayarak doğu tarafındaki 2275 m kotlu ocak erişim yoluna kadar uzanmaktadır. Döküm sahasını yaklaşık doğu-batı doğrultusunda geçen E-E' kesiti, döküm sahasının batı sınırındaki 2370 m rakımlı en üst tabladan başlayarak 2 ve 1 no'lu sondajlardan geçmekte ve doğu tarafındaki 2284 m kotlu ocak erişim yolunda sonlanmaktadır. Her iki sondajdan da orijinal arazi kotu verisi elde edildiği için Google Earth™ uygulamasından elde edilen orijinal arazi kotları, bu veri ile düzeltilmiştir.



Şekil 5. Kesit A-A' profili ve orijinal arazi profili.

3.3. Şev Duraylılığı Analiz Sonuçları

Döküm sahasında değişik yönlerde genel şev açılarının belirlenmesi amacıyla öncelikle hazırlanan kesitler şev analiz programına yüklenmiştir. Daha sonra, döküm malzemesine ait makaslama dayanım parametreleri (birim ağırlık, kohezyon ve içsel sürtünme açısı) programa veri olarak girilmiştir. Yapılan şev stabilite analizleri sonucunda, Kesit A-A', Kesit B-B', Kesit C-C', Kesit D-D' ve Kesit E-E' için en düşük güvenlik faktörleri (GF) sırasıyla 1.500; 0.825; 0.747; 1.499 ve 1.548 olarak bulunmuştur (Çizelge 4). Değerlendirme sonuçlarına göre Kesit A-A', Kesit D-D' ve Kesit E-E' için bulunan güvenlik faktörü değerleri hedeflenen güvenlik faktörü değerine (GF≥1.500) çok yakındır (Şekil 6, Şekil 9, Şekil 10).

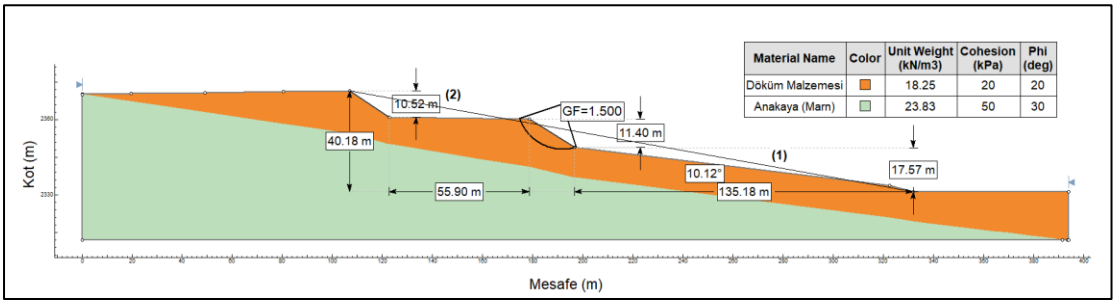
Kesit B-B’ (Şekil 7) ve Kesit C-C’de (Şekil 8) güvenlik faktörü değerlerinin 1.5’ten düşük olması nedeniyle yakın zamanda şev kaymaları beklenmelidir. Ayrıca şev duraylılığı analizleri sonucunda değişik basamak yüksekliklerinde (10 - 15 m) en düşük güvenlik faktörünü (GF=1.500) veren basamak şev açıları belirlenmiştir (Çizelge 5).

Çizelge 4. Döküm sahası şev duraylılığı analiz sonuçları

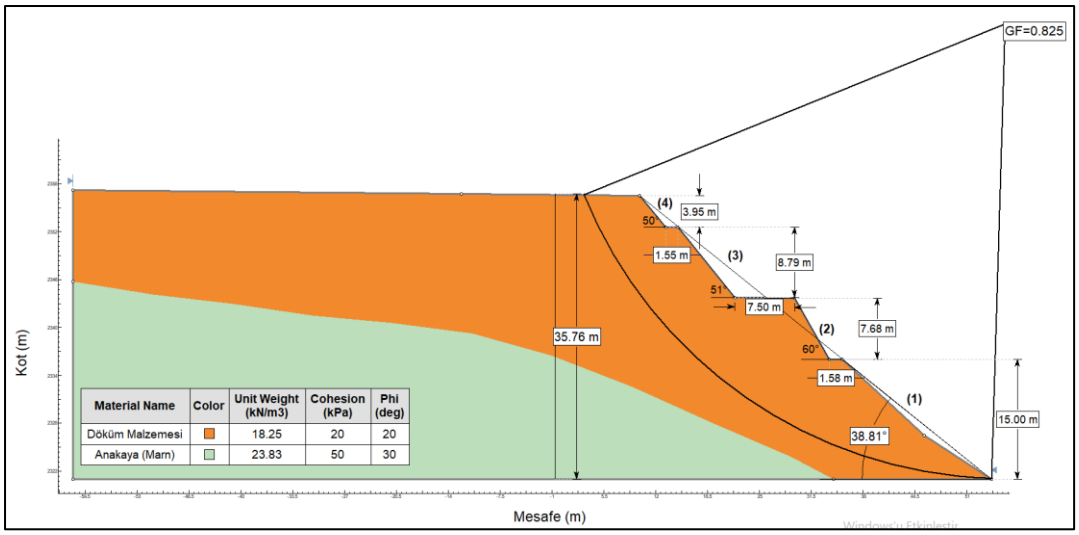
Kesit	Genel Şev Açısı (°)	Genel Şev Yüksekliği (m)	Güvenlik Faktörü (GF)
A-A’	10.12	58.03	1.500
B-B’	38.80	35.76	0.825
C-C’	35.92	41.60	0.747
D-D’	5.49	82.69	1.499
E-E’	6.94	95.55	1.548

Çizelge 5. Döküm sahasında değişik basamak yüksekliklerindeki şev açıları (GF = 1.500)

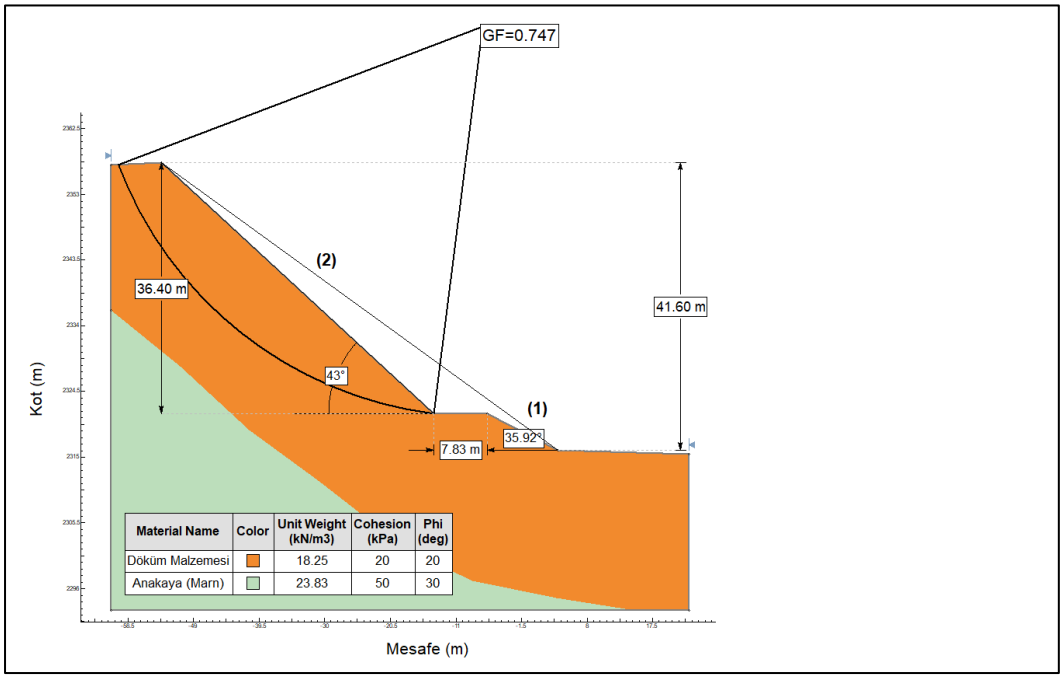
Basamak Yüksekliği (m)	Basamak Şev Açısı (°)	Basamak Genişliği (m)
10	35	14.281
11	33	17.197
12	30	20.751
13	28	24.132
14	27	26.973
15	25	31.581



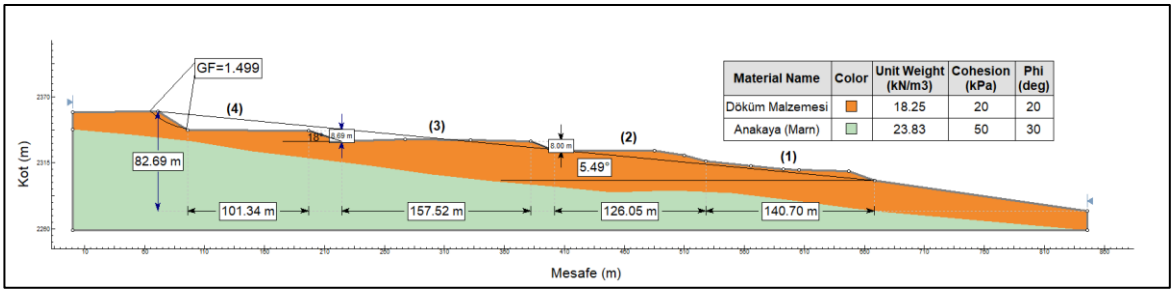
Şekil 6. Kesit A-A’ için şev duraylılığı analiz sonuçları



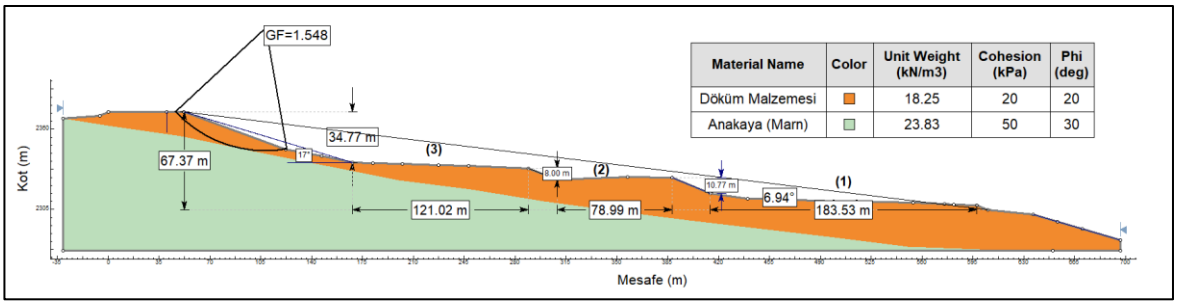
Şekil 7. Kesit B-B' için şev duraylılığı analiz sonuçları



Şekil 8. Kesit C-C' için şev duraylılığı analiz sonuçları



Şekil 9. Kesit D-D' için şev duraylılığı analiz sonuçları



Şekil 10. Kesit E-E' için şev duraylılığı analiz sonuçları

3.4. Riskli Kesitler için Güvenli Genel Şev Açılarının Belirlenmesi

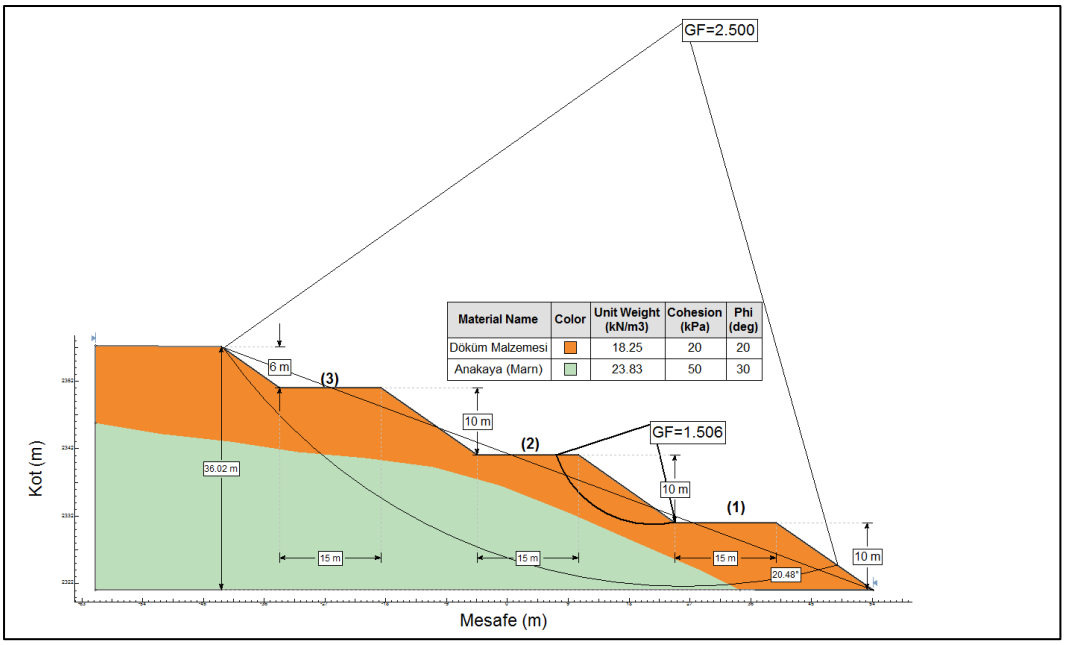
Riskli kesitlerden biri olan B-B' kesitinde 1. basamağın şev yüksekliği 15 m, basamak şev açısı 39°, 2. basamağın şev yüksekliği ~ 8 m, basamak şev açısı 60°, 3. basamağın şev yüksekliği ~9 m, basamak şev açısı 51° ve 4. basamağın şev yüksekliği ~ 4 m, basamak şev açısı 50°'dir. Şev stabilite analizi sonucunda güvenlik faktörü ise 0.825 bulunmuştur (Şekil 7).

C-C' kesitinde ise 1.basamağın şev yüksekliği ~ 5 m, basamak şev açısı 27° ve 2. basamağın şev yüksekliği ~ 37 m, basamak şev açısı 43°'dir. Şev stabilite analizi sonucunda güvenlik faktörü değeri 0.747'dir (Şekil 8).

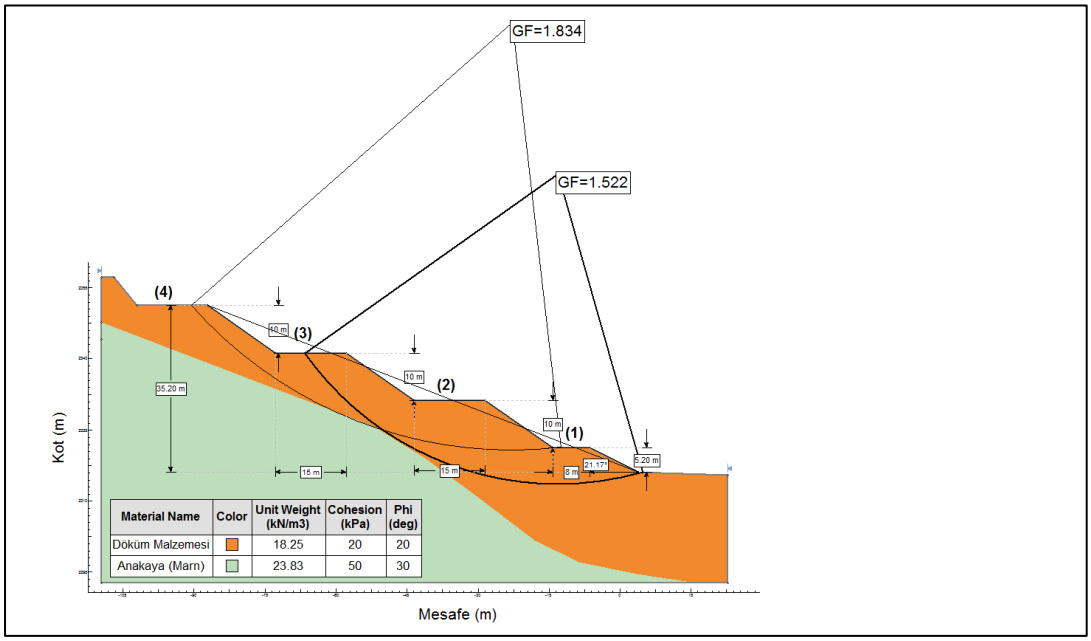
Bu kesitler için ayrıntılı yapılan stabilite analizleri sonucunda, hedef güvenlik faktörünü (GF≥1.500) sağlayan basamak yükseklikleri ve genişlikleri belirlenmiştir (Çizelge 6). Çizelge 6'de verilen değerler dikkate alınarak bu kesitlerde üst kotlardan başlanarak şevler basamaklandırılmalı (basamak yüksekliği 10 m ve basamak genişliği en az 15 m) ve emniyetli genel şev açıları sağlanmalıdır (Şekil 11 ve Şekil 12).

Çizelge 6. B-B' ve C-C' kesitleri için önerilen basamak genişlikler (Basamak yüksekliği = 10 m; Basamak şev açısı = 35°)

Kesit	Basamak Genişlikleri (m)			Genel Şev Açısı (°)	Güvenlik Faktörü (GF)
	1. Basamak	2. Basamak	3. Basamak		
B-B'	15	15	15	20.48	1.506
C-C'	8	15	15	21.17	1.522



Şekil 11. Kesit B-B'nin stabilite analiz sonuçları ve önerilen şev geometrisi



Şekil 12. Kesit C-C'nin stabilite analiz sonuçları ve önerilen şev geometrisi

4. SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Çilhoroz kömür açık ocağının döküm sahasında yapılan arazi, laboratuvar ve büro çalışmaları ışığında elde edilen sonuçlar ve öneriler aşağıda verilmiştir.

i. Döküm malzemesinin yerinde birim ağırlığı belirlenmiş ve yapılan sondajların değerlendirilmesi sonucunda sınıflaması yapılmıştır. Birim ağırlık belirleme deney sonuçları, sondaj karotlarının değerlendirme sonuçları, kaya ve zeminlerdeki literatür değerleri dikkate alınarak döküm malzemesinin makaslama dayanım parametreleri (birim ağırlık, kohezyon ve içsel sürtünme açısı) belirlenmiştir.

ii. Şev stabilite analizleri sonucunda, Kesit A-A', Kesit B-B', Kesit C-C', Kesit D-D' ve Kesit E-E' için en düşük güvenlik faktörleri (GF) sırasıyla 1.500; 0.825; 0.747; 1.499 ve 1.548 olarak bulunmuştur.

iii. Kesit B-B' ve Kesit C-C'de güvenlik faktörü değerlerinin 1.5'ten düşük olması nedeniyle yakın zamanda şev kaymaları olabileceği belirtilmiştir. Bu riskli kesitler için yapılan şev duraylılığı analizleri sonucunda değişik basamak yüksekliklerinde (10 - 15 m) en düşük güvenlik faktörünü (GF=1.5) veren basamak şev açıları belirlenmiştir.

iv. Riskli kesitlerde üst kotlardan başlanarak şevlerin basamaklandırılması (basamak yüksekliği 10 m ve basamak genişliği en az 15 m) ve emniyetli genel şev açılarının sağlanması önerilmiştir.

v. Arazi incelemeleri sırasında bazı şev üstlerinde görülen gerilme çatlaklarının döküm malzemesi ile doldurularak su girişinin engellenmesi önerilmiştir. Ayrıca şev üstündeki kamyon döküm yığınlarının ve oluşmuş çukurların düzeltilmesi, şev güvenliği açısından büyük önem taşıyan şev üstü yüzey drenajı için basamak tablalarına yaklaşık %1 eğim verilmesi ve drenaj kanallarının yapılması gerektiği belirtilmiştir.

KAYNAKLAR

Abdelmonem, H. H., Bakr, M. S., Eldin, M. S. (2023). Influence of water content on the shear strength parameters for cohesive soil. *Journal of Al-Azhar University Engineering Sector*, 18(68) 529-540.

Ceylanoğlu, A,, Erdem, B,. Şengün, B. (2024) Erzincan ili Çayırlı ilçesi Çilhoroz köyü mevkiinde bulunan kömür açık ocağı için şev duraylılığına yönelik gözlem, ölçüm, inceleme ve değerlendirme. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi*, 27 s. (Yayımlanmamış).

Deere, D. U., Miller, R. P., (1966) *Engineering classification and index properties for intact rock*. Air Force Weapons Lab, Tech, Report, AFWL-TR-65-116 Kirtland Base, New Mexico, USA,

Shiyou, G., Wei, Z., Xuyang, S., Qingxiang, C., Crusoe Garmondyu, E. Jr, Shu, J., Yuejun, H. (2017) Mechanical properties of material in a mine dump at the Shengli #1 surface coal mine, China. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27, 545-550.

Şengün, B., Erdem, B,. Ceylanoğlu, A. (2024) Erzincan ili Çayırlı ilçesi Çilhoroz köyü mevkiinde bulunan kömür açık ocağının döküm sahası için şev duraylılığına yönelik gözlem, ölçüm, inceleme ve değerlendirme. *Sivas Cumhuriyet Üniversitesi*, 28 s. (Yayımlanmamış).

MADEN İŞLETMELERİNDE SÜRDÜRÜLEBİLİR İSG YÖNETİMİ İÇİN ISO 45001 STANDARTININ ROLÜ

THE ROLE OF ISO 45001 STANDART FOR SUSTAINABLE OHS MANAGEMENT IN MINING ENTERPRISES

Gülin Azer Eraltan
Dokuz Eylül Üniversitesi İş Sağlığı ve Güvenliği Doktora Programı, İzmir

Çağatay Pamukçu
Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

ÖZET: Madencilik sektörü, doğası gereği yüksek riskler barındıran bir alandır. Uluslararası maden işletmeleri, faaliyet gösterdikleri farklı coğrafi bölgeler ve kültürel yapılardan kaynaklanan özgün iş sağlığı ve güvenliği (İSG) risklerinin yanı sıra, çeşitli ülke ve bölgelere özgü yasal düzenlemelere uyum sağlama, kültürel farklılıkları yönetme ve küresel ölçekte bir İSG standardını uygulama gibi zorluklarla karşı karşıyadır. Bu çalışma, ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi standardının, uluslararası maden işletmelerinde sürdürülebilir bir İSG yönetiminin oluşturulmasındaki ve geliştirilmesindeki rolünü incelemektedir. ISO 45001'in temel prensipleri, madencilik sektörüne özgü risklerin etkin bir şekilde yönetilmesi üzerindeki etkileri ve standardın işletmelere sağladığı yapısal ve operasyonel katkılar kapsamlı biçimde ele alınmaktadır.

Anahtar Kelimeler: ISO 45001, Yönetim Sistemi, Madencilik, İş Sağlığı ve Güvenliği

ABSTRACT: *The mining sector is inherently characterized by high levels of risk. International mining enterprises are faced not only with sector-specific occupational health and safety (OHS) risks but also with challenges such as complying with diverse legal regulations across different countries and regions, managing cultural differences, and implementing a global OHS standard. This study examines the role of the ISO 45001 Occupational Health and Safety Management System standard in establishing and enhancing sustainable OHS management in international mining companies. The fundamental principles of ISO 45001, its effectiveness in managing sector-specific risks in the mining industry, and the structural and operational contributions it provides to organizations are comprehensively addressed.*

Keywords: *ISO 45001, Management System, Mining, Occupational Health and Safety*

1.GİRİŞ

Uluslararası Çalışma Örgütü (ILO) verilerine göre her gün dünya genelinde 7600'den fazla kişi iş kazalarına bağlı nedenlerle hayatını kaybetmektedir. Madencilik sektörü de bu istatistiklerde önemli bir paya sahiptir. Geçmişte yaşanan büyük kazalar, sektör genelinde ciddi bir güvensizlik algısı oluşturmuş; şirketlerin yalnızca yasal düzenlemelere uyum sağlamalarının ötesinde, proaktif ve şeffaf bir şekilde risk yönetimi uygulamaları gerçekleştirmeleri yönünde beklentileri artırmıştır.
Etkili bir İSG yönetimi, bir kuruluşun sosyal onayı kazanması ve bunu sürdürebilmesi, ayrıca yatırımcılar, çalışanlar ve yerel halk gibi paydaşlarla güvene dayalı ilişkiler kurabilmesi açısından kritik önemdedir (Gavronski, J., 2024). Bu çerçevede Mart 2018'de yayımlanan ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi (İSGYS) standardı, yalnızca madencilik sektörü için değil, tüm kuruluşlar için daha güvenli ve sağlıklı çalışma ortamları oluşturmayı ve İSG performansını sürekli iyileştirmeyi hedeflemektedir.
Özellikle çok tehlikeli işyerleri arasında yer alan madencilik işletmeleri için ISO 45001'in sunduğu sürdürülebilir İSG uygulamaları büyük önem taşımaktadır.

2.MALZEME VE YÖNTEM:

Bu çalışma, madencilik sektöründe iş sağlığı ve güvenliği ile ISO 45001 standardı kapsamında yürütülen akademik araştırmalar ve mevcut literatür taramaları sonucunda elde edilen bulguların derlenmesiyle oluşturulmuştur.

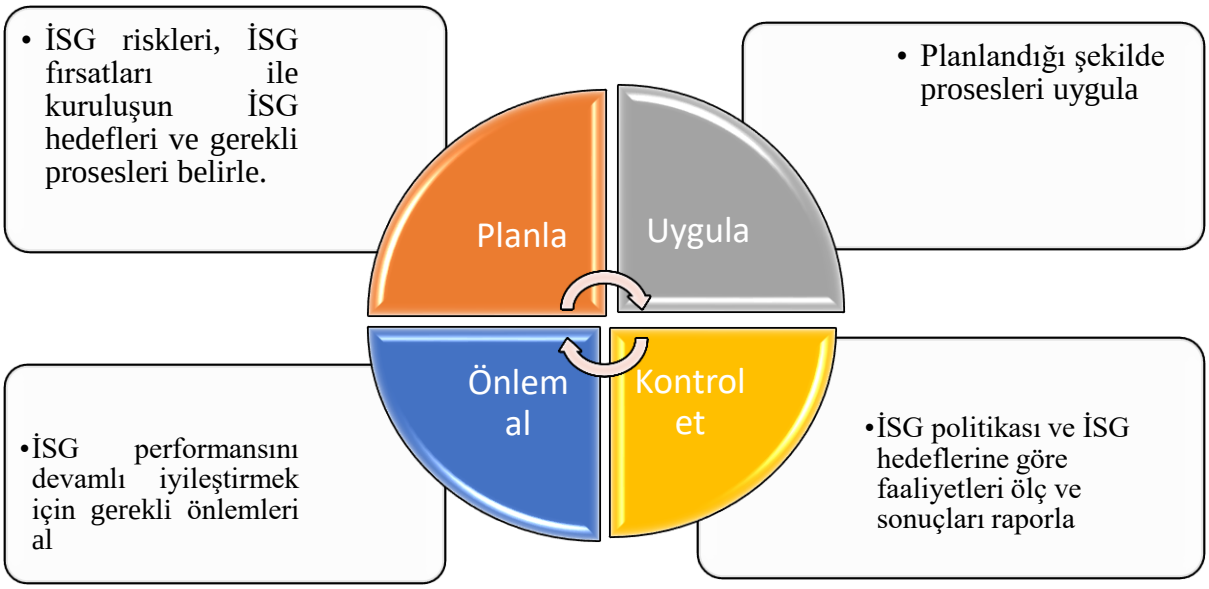
2.1 ISO 45001 Standartı

ISO 45001 standardı, 1996 yılında İngiltere'de yayımlanan OHSAS 18001'in yerini almış ve Uluslararası Çalışma Örgütü'nün (ILO-OSH 2001) rehberliği ile 70'ten fazla ülkenin uzmanlarının katkılarıyla geliştirilmiştir. ISO 45001'in uygulamaya alınması için kuruluşlara üç yıllık bir geçiş süresi

tanınmış ve OHSAS 18001 sertifikasına sahip kurumların, en geç 12 Eylül 2021'e kadar ISO 45001'e geçiş yapmaları zorunlu tutulmuştur (Dolgunyürek, O., 2024).

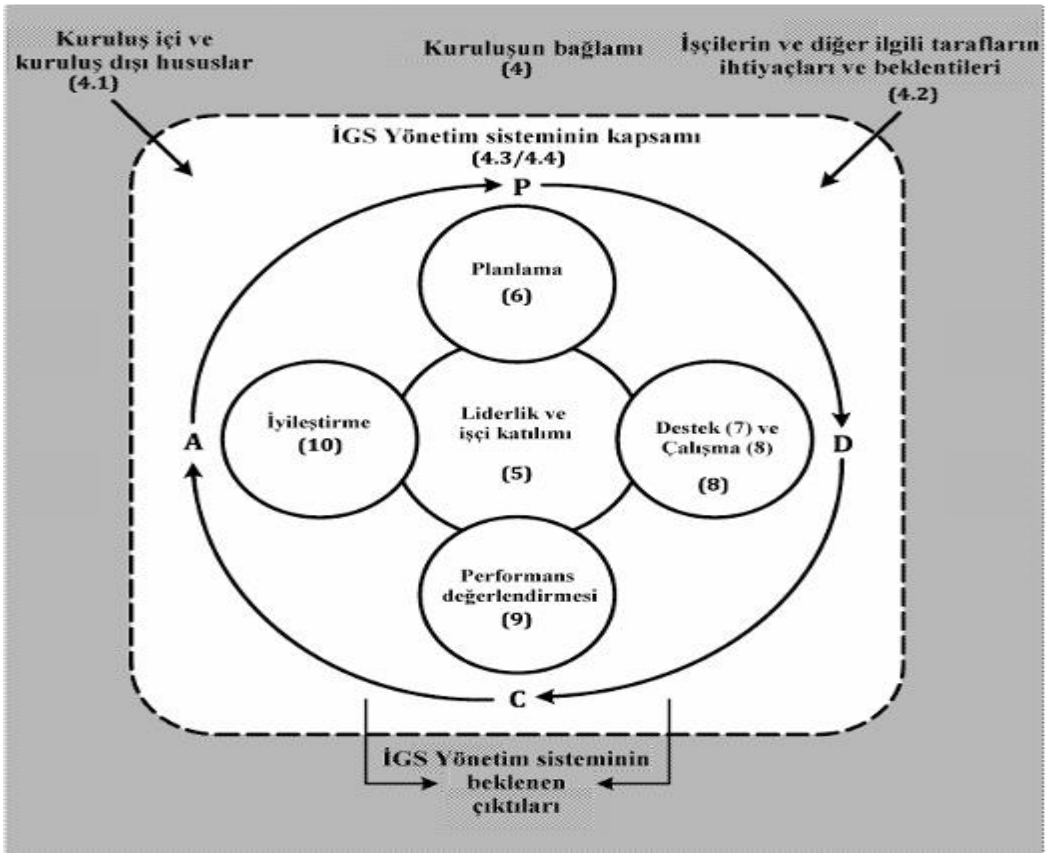
ISO 45001'in temel özellikleri:

- Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem Al (PUKÖ) döngüsü esas alınarak sistematik bir yapı oluşturur.
- İş sağlığı ve güvenliği riskleri ile fırsatlarını yönetecek bir çerçeve sağlar.
- Sürekli iyileştirmeyi teşvik eder.



Şekil 1. PUKÖ Döngüsü

Standart, PUKÖ'yü uygularken aynı zamanda kendi maddelerine de entegre ederek yeni bir çerçeve oluşturmuştur. Aşağıda verilen şekilde dokümandaki madde numaralarına karşılık gelen haliyle standarta entegre edilmiş PUKÖ döngüsü verilmiştir.



Şekil 2. PUKÖ ile bu dokümandaki çerçevenin ilişkisi

ISO 45001 standardı toplam 10 maddeden oluşmaktadır. İlk üç madde (Kapsam, Bağlayıcı Atıflar, Terimler ve Tanımlar) genel çerçeveyi çizerken, standardın temel gereklilikleri 4'ten 10'a kadar olan maddelerde yer alır. Bu maddelerin tanımları aşağıdaki Çizelge 1'de özetlenmiştir.

Çizelge 1. ISO 45001 Maddeleri ve Temel İçerikleri

Standart madde numarası ve adı	**Temel amaç ve gereklilikler**
Madde 4: Kuruluşun Bağlamı	• Kuruluş, İSGYS'nin amaçlarına ulaşmayı etkileyen iç ve dış hususları belirler. (4.1) • Çalışanlar ve diğer ilgili tarafların ihtiyaç ve beklentileri belirlenir.(4.2) • Kapsam belirlenir. (4.3) • Standart şartlarına uygun olarak prosesler ve bunların birbiriyle etkileşimi ile İSGYS kurulur. (4.4)
Madde 5: Liderlik ve çalışan katılımı	• Üst Yönetim, işle ilgili yaralanmalar ve sağlığın bozulmasını önlemeye yönelik sorumluluk aldığını, Kuruluşun İSG politikasına bağlılığını taahhüt eder.(5.1) • İSG politikası oluşturulur. (5.2) • Çalışanların görev, yetki ve sorumlulukları belirlenir. (5.3) • Çalışan katılımı ile ilgili prosesler oluşturulur. (5.4)
Madde 6: Planlama	• Kuruluş risk ve fırsatları belirler. Bu kapsamda öncelikle tehlikeler, ardından İSG riskleri ve yönetim sistemi riskleri ve İSG fırsatları ve yönetim sistemi fırsatları ve bunlara uygun yasal şartlar ve diğer şartlar belirlenir. (6.1) • Kuruluş İSG yönetim sisteminin ve İSG performansının sürekliliğini sağlamak ve sürekli iyileştirmek için ilgili fonksiyonlarda ve seviyelerde İSG hedeflerini oluşturur ve bu hedeflere ulaşmak için planlama yapar. (6.2)
Madde 7: Destek	• İSG yönetim sisteminin oluşturulması, uygulanması, sürdürülmesi ve sürekli iyileştirilmesi için ihtiyaç duyulan kaynakları belirlenir ve sağlanır. (7.1) • İSG performansını etkileyen veya etkileyebilecek çalışanların gerekli yetkinliğini belirler, çalışanların

	yetkinliklerini (tehlikeleri tanımlama becerisi dahil) güvence altına alır. (7.2) • Çalışanların İSG politikası, kuruluşun İSG performansı, tehlikeler, İSG riskleri ve bunlarla ilgili belirlenen faaliyetler hakkında bilgilendirilmesini(farkındalık) sağlar. (7.3) • İç ve dış iletişim için gerekli proses/prosesler oluşturulur. (7.4) • İSGYS'ye uygun olarak oluşturulan dokümante edilmiş bilgi kuruluşta güvence altına alınır. (7.5)
Madde 8: Operasyon	• Kuruluş kontrol hiyerarşisi kullanarak tehlikeleri azaltır ve İSG risklerini azaltır. (8.1) • Acil durumlar için müdahale planı yapar, gerekli eğitimleri verir ve bunları test eder. (8.2)
Madde 9: Performans Değerlendirme	• Kuruluş, izleme, ölçme, analiz ve performans değerlendirme proses/proseslerini oluşturur, uygular ve sürekliliğini sağlar. (9.1) • Kuruluş, İSG politikası ve İSG hedefleri dahil olmak üzere kendi İSG yönetim sistemi için olan şartlara, bu standardın şartlarına uygunluğu test etmek için iç tetkik yapar. (9.2) • Kuruluşun üst yönetimi, planlanan aralıklarla, İSG yönetim sisteminin uygunluğu, yeterliliği ve etkinliğinin sürekliliğini güvence gözden geçirmelidir.(Yönetimin gözden geçirilmesi=YGG) (9.3)
Madde 10: İyileştirme	• Kuruluş olayları ve uygunsuzlukları, düzeltici faaliyetleri belirler ve yönetmek için raporlama, araştırma ve faaliyet gerçekleştirme dahil olmak üzere proses/prosesler oluşturur, uygular ve sürekliliğini sağlar. (10.1 ve 10.2)

	• Kuruluş, İSG yönetim sisteminin uygunluğunu, yeterliğini ve etkinliğini sürekli iyileştirir.(10.3)

ISO 45001 İSGYS standartının önemli bir özelliği de ISO'nun şartlarına uyumlu olmasıdır. Bu şartlar, birden çok ISO yönetim sistemi standardını uygulamak isteyen kullanıcılara yarar sağlaması için tasarlanmış olduğundan, belirli bir üst yapı, aynı çekirdek metin ve çekirdek tanımlarla birlikte ortak terimleri içerir. Dolayısıyla standart, kuruluş tarafından ISO 9001 Kalite Yönetim Sistemi ve ISO 14001 Çevre Yönetim Sistemi ile entegre edilebilir. Böylece kuruluş Entegre Yönetim Sistemi(EYS) kurarak şirketini çok daha prestijli bir konuma taşır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. Madencilik Sektöründe Spesifik Risklerin ISO 45001 Çerçevesinde Yönetimi

Sosyal Güvenlik Kurumu'nun (SGK) 2023 yılı istatistiklerine göre, madencilik sektöründeki iş kazası sıklık oranı 1000 işçi başına 45,8 olup, bu oran sanayi sektörleri ortalamasının yaklaşık dört katıdır. Aynı dönemde, madencilik sektörü, sektörler bazında ölümle sonuçlanan iş kazalarında %14,3'lük bir paya sahiptir (SGK, 2023).

Er,B. (2018) tarafından Ege Bölgesindeki maden işletmelerinde yapılan bir çalışmada gerek iş kazası oranlarının gerekse toplu yaralanma veya ölüm oranlarının yüksek olduğu kömür madenciliğinde üretim sistemi olarak kullanılan uzunayak yöntemi ile ilgili havalandırma, merkezi gaz izleme, gaz seviyeleri, tahkimat, üretim, nakliyat, ferdi kurtarıcı maske, yeraltı suyu ve su atımı, kaçamak yolu, kömür tumbası ve tali havalandırma olmak üzere toplam 11 adet tehlike kaynağı ve bu tehlikelerden doğabilecek riskler belirlenmiştir. Tehlikelerin tanımlanması ve bu tehlikelere bağlı ortaya çıkacak risklerin değerlendirilmesi işletme için olmasa olmaz bir yasal zorunluluk olmakla birlikte bu yüksek risk

ortamında, yalnızca mevzuat uyumuyla sınırlı kalmayan, proaktif ve sistematik bir yaklaşım ihtiyacı doğmuştur. ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetim Sistemi, risk temelli düşünceyi teşvik ederek, potansiyel tehlikelerin erken aşamada tanımlanmasını, risklerin etkin şekilde değerlendirilmesini ve kontrol önlemlerinin sistematik olarak planlanmasını sağlamaktadır. Uzunayak yöntemi tehlikelerinden havalandırmadan doğacak risklerin ISO 45001 maddeleri ile ilişkilendirilen kontrolü aşağıdaki Çizelge 2'de kısaca özetlenmiştir.

Çizelge 2. Risklerin ISO 45001 maddeleri ile ilişkilendirilmesi

TEHLİKE	İLGİLİ RİSKLER	İLGİLİ ISO 45001 MADDELERİ	AÇIKLAMA
1. HAVALANDIRMA	1.1 Yetersiz Havalandırma	6.1.2 Tehlikelerin Belirlenmesi ve Risk-Fırsat Değerlendirmesi	Yetersiz havalandırmanın tespiti, risk analizi yapılması
	1.2 Fazla Havalandırma	8.1 Operasyonel Planlama ve Kontrol	Fazla havalandırmanın kaynak israfı ve diğer riskler yaratmaması için süreç kontrolü
	1.3 Periyodik Ölçüm Eksikliği	9.1 İzleme, Ölçme, Analiz ve Performans Değerlendirme	Havalandırmanın etkinliğinin düzenli ölçülmemesi riski
	1.4 Fan Kapasitesi Yetersizliği	8.1 Operasyonel Planlama ve Kontrol	Fan sistemlerinin teknik yetersizliği nedeniyle oluşabilecek havalandırma riski

4. SONUÇ

Bu çalışma, madencilik sektöründe karşılaşılan özgün iş sağlığı ve güvenliği risklerinin, ISO 45001 standardı çerçevesinde etkin biçimde yönetilebileceğini ortaya koymaktadır. Standardın sunduğu sistematik yapı sayesinde, tehlikelerin erken aşamada belirlenmesi, risklerin analizi ve uygun kontrol önlemlerinin planlanması mümkün hale gelmektedir. Bu yaklaşım yalnızca yasal yükümlülüklerin yerine getirilmesini sağlamakla kalmaz; aynı

zamanda kurumsal itibarı güçlendiren, çalışan bağlılığını artıran ve toplum nezdinde kabul gören bir İSG kültürünün oluşmasına katkı sunar. ISO 45001'in temelini oluşturan Planla-Uygula-Kontrol Et-Önlem Al (PUKÖ) döngüsü, özellikle yüksek tehlike sınıfındaki sektörler için güçlü bir geri bildirim ve sürekli iyileştirme mekanizması sunmaktadır. Bunun yanında, ISO 9001 ve ISO 14001 gibi diğer yönetim sistemleriyle kolaylıkla entegre edilebilmesi, kurumlara hem kaynak verimliliği hem de daha bütüncül bir yönetim anlayışı kazandırmaktadır.

Sonuç olarak, ISO 45001 yalnızca bir sertifikasyon süreci değil; sürdürülebilir, önleyici ve dinamik bir İSG yönetim sisteminin temel taşıdır. Bu yaklaşım, madencilik sektöründe hem çalışan güvenliğini sağlamanın hem de kurumsal sürdürülebilirliği desteklemenin vazgeçilmez bir aracı hâline gelmiştir.

Bu çalışmada ISO 45001'in madencilik sektöründeki uygulamaları genel hatlarıyla ele alınmıştır. Ancak bu alandaki bilgi birikimini geliştirmek ve farklı boyutları değerlendirebilmek adına aşağıdaki araştırma konuları önerilmektedir:

- ISO 45001 standardını uygulayan ve uygulamayan madencilik işletmeleri arasında İSG performansı açısından farklılıkların ölçüldüğü kapsamlı ve karşılaştırmalı nicel saha araştırmaları,
- ISO 45001 kapsamında yürütülen risk yönetimi uygulamalarının üretkenlik, maliyet etkinliği ve iş sürekliliği gibi işletme performans göstergelerine etkisini inceleyen çalışmalar,
- Farklı ülkelerdeki maden işletmelerinde standart uygulamalarının kültürel, yönetsel ve yasal farklılıklarla etkileşimini analiz eden uluslararası karşılaştırmalı çalışmalar,
- Sanal gerçeklik (VR), artırılmış gerçeklik (AR) ve dijital ikiz gibi yeni nesil teknolojilerin, ISO 45001 kapsamında eğitim ve farkındalık süreçlerinde kullanımına yönelik uygulamalı araştırmalar,

Bu tür araştırmalar, hem akademik alana katkı sağlayacak hem de madencilik

sektöründe daha etkili ve sürdürülebilir İSG yönetim sistemlerinin gelişimine olanak tanıyacaktır.

KAYNAKLAR

6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu. https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=6331&MevzuatTur=1&MevzuatTertip=5 (Erişim Tarihi: 28.04.2025)

Dolgunyürek, O. (2024) ISO 45001 İş Sağlığı ve Güvenliği Standartının Eğitim Kurumlarında Uygulamasının Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, İstanbul Gedik Üniversitesi, İstanbul

Er, B. (2018). Yeraltı Kömür Madenciliğindeki Temel Risklerin Hibrit bir Risk Analiz Yöntemiyle Değerlendirilmesi. Doktora Tezi, Dokuz Eylül Üniversitesi, İzmir

Gavronski, J. (2024). Fundamentals of Safety in Mining. (https://www.researchgate.net/publication/384304451_Fundamentals_of_safety_in_mining (Erişim Tarihi:27.04.2025)

International Labour Organization (ILO). (2023). Safety and health in mining. Sosyal Güvenlik Kurumu (SGK). (2023). İş Kazası ve Meslek Hastalığı İstatistikleri Raporu.

İşSağlığı ve Güvenliği Risk Değerlendirmesi Yönetmeliği https://www.mevzuat.gov.tr/mevzuat?MevzuatNo=16925&MevzuatTur=7&MevzuatTertip=5

TS EN ISO 45001 Kasım 2023. İş Sağlığı ve Güvenliği Standartı, Türk Standartları Enstitüsü.

MADENLERDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ ALANINDA YAPAY ZEKA UYGULAMALARI

ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATIONS IN OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY IN MINES

Büşra Ayşe Dilek,
Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği, İzmir

Derya Topkaya Taşkıran
Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Fakültesi, Kimya Bölümü, İzmir
Dokuz Eylül Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İş Sağlığı ve Güvenliği, İzmir

ÖZ: Madencilik faaliyetleri, kısıtlı çalışma ortamı, tehlikeli gazlar ve partiküller, ergonomik zorluklar, yetersiz aydınlatma, gürültü, titreşim gibi çok çeşitli tehlike ve riskleri içinde barındırır. İş sağlığı ve güvenliğinin temel amacı tehlike ve riskleri ortadan kaldırmaktır ya da en az seviyeye indirmektir. Yapay zeka tabanlı oluşturulan sistemler, iş kazası ve meslek hastalığını önleyici tedbirler sunuyor. Çalışma sahalarını otonom olarak izleyen, sinyaller ve uyarılar gönderen, tehlikeli durum ve davranışları tespit eden ve uyaran, tehlikeli durumlarda bile sürekli çalışan yapay zeka araçları üretildi. Bu araçlar, çalışanı ve çalışma sahasını sürekli izleyerek tehlike ve risklere karşı çalışanı ve sistemi uyarıyor, insana dayalı çalışmayı azaltarak hız, verimlilik ve süreklilik sağlıyor. Örneğin, yeraltı madenciliğinde, otonom araçlar insan operatörlerinin yerini alarak göçük tehlikesi olan alanlarda insan ihtiyacını ortadan kaldırmaya başlıyor ve bu sayede ölümlü kazalar önlenmiş oluyor. Geliştirilen giyilebilir cihazlar sayesinde ise, çalışanın fizyolojik verileri izlenerek tehlikeli durum ve davranışlarda erken uyarı sağlanarak, yorgunluk ve stres seviyeleri takip edilebiliyor. Tüm bunlar yapay zekanın artık iş sağlığı ve güvenliğinde çok etkin bir rol oynayacağını gösteriyor.
Anahtar Kelimeler: Maden, iş sağlığı ve güvenliği, yapay zeka

Abstract
Mining activities include a wide range of hazards and risks such as restricted working environment, dangerous gases and particles, ergonomic difficulties, inadequate lighting, noise, vibration. The main purpose of occupational health and safety is to eliminate or minimize hazards and risks. Systems created based on artificial intelligence offer preventive measures against occupational accidents and diseases. Artificial intelligence tools that autonomously monitor work areas, send signals and warnings, detect and warn dangerous situations and behaviors, and work continuously even in dangerous situations have been produced. It constantly monitors the employee and the work area and warns the employee and the system against hazards and risks. It provides speed, efficiency

and continuity by reducing human-based work. In underground mining, autonomous vehicles replace human operators and begin to eliminate the need for humans in areas with a risk of collapse. In this way, fatal accidents are prevented. Thanks to wearable devices, the physiological data of the employee is monitored and early warning is given in case of dangerous situations and behaviors. Fatigue and stress levels can be monitored. All these show that artificial intelligence will now play a very active role in occupational health and safety.

Keywords: *Mining, occupational health and safety, artificial intelligence*

1.GİRİŞ

Bir anda hayatımıza giren ve birçok alanda hayatımızı kolaylaştıran yapay zekanın multidisipliner bir alan olan iş sağlığı ve güvenliği alanına girmesi de kaçınılmazdı. Günümüz teknolojisi ile çalışma ortamı ölçümleri; gaz, toz, partikül, sıcaklık, nem, aydınlık, gürültü, titreşim, çalışanın fizyolojik verilerinin ölçümleri; kalp atışı, vücut ısısı, uyku ve yorgunluk durumu, gibi ölçümlerin yapılıp verilerin elde edilmesi iş sağlığı ve güvenliği uygulamalarını kolaylaştırmıştır. Çok tehlikeli sınıf olan maden işletmelerindeki tehlike ve riskler düşünüldüğünde yapay zeka teknolojsiyle bu tehlike ve risklerle baş etmek mümkündür.

Yapay Zeka, bir bilgisayarın, bilgisayar kontrolündeki bir robotun veya programlanabilir bir aygıtın insana benzer biçimde algılama, öğrenme, fikir yürütme, karar verme, sorun çözme, iletişim kurma vb. işlevleri sergileyebilme yeteneğidir. Yapay zeka (TDK), yüksek seviyede insan gücü gerektiren aktivitelerin bilgisayarlar yardımıyla yapılmasını konu alan bilgisayar biliminin bir koludur (Özfırat,2009). Yapay zekanın alt alanları; yapay sinir ağları, doğal dil işleme, robotik, bulanık mantık, uzman sistem, makine öğrenmesidir (MEB,2020).

Aşağıda Çizelge 1’de yapay zekanın gelişim süreci, yıllara göre verilerek, bir kronolojik sınıflandırma yapılmıştır. Buradan anlaşıldığı üzere, yapay zeka, 1951 yıllarında ilk olarak dama, satranç gibi oyunlarla hayatımıza girmeye

başladı. Şuanda gelinen nokta da ise eğitimden, sağlığa, tüm iş kollarında daha güvenli çalışma ortamının sağlanmasına kadar hayatımızın her anında ve alanında yer almaktadır.

Çizelge 1 Yapay Zekanın Gelişim Süreci

YIL	GELİŞME	YAPAN KİŞİ VEYA KURUM
1947	1947 Akıllı makinelerin icat edilebileceğini açıklandı	Alan Turing
1951	Dama programı yazıldı	Christopher Strachey
1951	Satranç programı yazıldı	Dietrich Prinz
1956	Yapay zeka kelimesi ilk kez ortaya atıldı	John McCarty
1962	İlk endüstriyel robot şirketi Unimation kuruldu	Unimation
1978	Savaşçı robotlar tanıtıldı	Cylons
1980	İlk yapay zeka konferansı Stanford'da yapıldı	Amerika YZ.Derneği
1997	Dünya satranç şampiyonu Deep Blue'a yenildi	IBM
2011	Televizyon yarışması şampiyonları Watson'a yenildi	IBM
2011	Apple Siri icat edildi	Apple
2014	Amazon Alexa icat edildi	Amazon
2014	Çekişmeli Üretici Ağlar bulundu(GAN)	Ian Goodfellow
2016	AlphaGo Lee Sedol'ü go maçında yenmiştir	Google
2017	Dönüştürücü ağlar adında ağlar tanıtıldı	Transformer Network
2018	Doğal dil işleme modeli Bert yayınlandı	Google
2019	1,5 milyar parametreli GPT-2 yayınlandı	OpenAl

2020	175 milyar parametreli GPT-3 yayınlandı	OpenAl
2021	Yazıyla tarif edilen resimleri üreten DALL-E yayınlandı	OpenAl

2. MALZEME VE YÖNTEM

Yapılan çalışmada yapay zeka, madenlerde iş sağlığı ve güvenliği yapay zeka uygulamaları alanlarında araştırma yapılıp, literatür taranmış, elde edilen ders kitabı, makale, dergi gibi yayınlar okunup derlenmiştir.

2.1 Madenlerde İş Sağlığı ve Güvenliği Yapay Zekâ Uygulamaları

Maden sektöründeki enerjiye ve insan gücüne duyulan ihtiyaç, yapay zekanın doğru bir şekilde kullanılması durumunda sektördeki verimliliğini artıracaktır (Corrigan ve Laye, 2022). Maden sektöründeki yapay zeka uygulamalarıyla, maden arama, cevherleşme tahminleri, maden keşifleri, dron sistemleri ile arazi araması, kullanılmayan sahaların kontrolü, gaz ölçümleri, yüz algılama ve yüz tanımla gibi birbirinden farklı sistemler kullanılmaktadır. İş sağlığı ve güvenliğini temel hedefi olası tehlike ve riskleri önlemek, iş kazası ve meslek hastalıklarından korunmak ve işyerlerinde İSG kültürünü kurmaktır. İSG 4.0 teknolojileri ve yapay zeka ile bu hedefleri gerçekleştirmek çok daha mümkündür.

İş sağlığı ve güvenliğini alanında yapay zeka uygulamalarının sınıflandırılması değişiklik göstermektedir. Pishgar ve arkadaşlarının yaptığı çalışma da maden çalışanlarının sağlığını ve güvenliğini destekleyen yapay zeka teknolojileri, sensörler ve giyilebilir cihazlar ve otonom robotlar olmak üzere üç geniş kategoriye ayrılmıştır.

Başka bir çalışmada ise; İBM maximo yazılımı, bulut bilişim (Cloud Computing), yapay zeka (artificial ıntelligence - AI) destekli güvenlik sistemleri, artırılmış gerçeklik (augmented reality - AR), gerçek zamanlı konum belirleme

teknolojisi (real time location- RTLS), nesnelerin interneti (ınternet of things-IoT) olarak sınıflandırmıştır(Kahraman, Yürüten Özdemir 2022).

2.1.1 Sensörler

Sensörler üç sınıfa ayrılmaktadır; çalışan tabanlı sensörler, çevresel sensörler ve otonom robotlar Pishgar vd. 2021).

İlk çalışan tabanlı sensör sistemi, Johnson tarafından çalışanların yerlerini tesbit etmek ve hareketlerini izlemek amacıyla kullanıldı. 2017 yılında Baek ve arkadaşları çalışanlar ile iletişim sağlamak için bluetooth tabanlı hareket hız ve iletişim sensör modüllerini kullandı (Baek vd.,2017). Wang ve vd. (2010) tıbbi alanda vücut sıcaklığı, kalp atış hızı, kan basıncı gibi fizyolojik özellikleri ölçmek için kullanılan sensörlerin, madenlerdeki işçilerin sağlığını izlemek için kullanılabileceğini öne sürmüştür.

Çevresel sensörler, çalışma ortamında bulunan nem, gürültü, zehirli gazlar, sıcaklık, ışık ve toz gibi etkenler hakkında veri toplamak için kullanılır(Jones,1995). Zehirli gaz seviyelerini izleyebilen ve maden çalışanlarının sağlığını ve güvenliğini korumak için uyarılar gönderebilen otonom sensör sistemleri de vardır. Aynı sensörler bakteri oluşumu engellemek ve çalışan sağlığına zararlı bakterilere maruz kalmasını önlemek için çalışma ortamındaki nem seviyesini de ölçmektedir (Jones,1995). Lilic ve arkadaşlarının yaptığı benzer bir çalışmada PROTECTOR isimli hibrit sistem Sırbistanın en büyük açık maden işletmesine kurulmuş ve şu parametreler; gaz, toz, iklim, gürültü, titreşim, aydınlatma ve jeoteknik tehlike (yüksek duvar kararlılığı ve atık kararlılığı) ölçülmüştür. Çıkan değerlere göre bu sistem çözüm önerileri sunmuştur (Lilic vd.,2010).

2.1.2 Giyilebilir cihazlar

Farklı sensör tipleri kullanılan giyilebilir cihazlar, hareket ve konumu izlemek, çalışanların fizyolojik değerlerini ölçmek için çeşitli durumlarda

kullanılabilir. Bu özellikler, madenlerdeki sağlık ve güvenlik koşullarını iyileştirmek için tehlikeli durumları daha hızlı tespit edebilecek verimli bir makine öğrenmesi algoritması ile birleştirilebilir. Giyilebilir akıllı kasklar, gözlük, güvenlik yeleği, saatler ve kameralardır.

Giyilebilir teknolojiler ve kişisel koruyucu donanımlar (KKD) çalışanların gerçek zamanlı analiz edilmesine ve veri toplanmasına olanak tanımakta, bu veriler işyerinde olduğu kadar işyeri dışında toplanabilmektedir. Bu sistemler kullanılırken verilerle ilgili şeffaflığın sağlanması önem taşımakla birlikte, doğru kullanıldığında; iş sağlığı ve güvenliği denetimini iyileştirme, kanıta dayalı önlemeyi destekleme ve denetimlerin verimliliğini arttırma fırsatı sağlayabilir (EU-OSHA, 2019, 2021).

Kablosuz sensörlü kask, madencilik sektöründeki çalışanların güvenliği için önemlidir (Ghasemi vd.,2012). Bu nedenle çalışanı ve çalışma ortamlarını izlemek için sensörlü akıllı kask geliştirilmiştir. Hazarika, metan ve karbon monoksit gazının çalışma ortamındaki değerini ölçmek için metan ve karbonmonoksit gaz sensörüyle donatılmış bir kask geliştirdi (Hazarika,2016)]. Madendeki işçilerin etrafındaki toz miktarını değerlendirmek için bir cihaz olan Helmet-Cam, mineral madenlerinde test edilmiştir (Haas vd., 2016). Bu teknoloji, gerçek zamanlı veri kaydıyla havadaki solunabilir silika tozunun konsantrasyonunu ölçmek için bir yazılıma aktarılır ve analiz edilir.

Mardonova ve diğerleri, maden çalışanlarının iş sağlığı ve güvenliği koşullarını iyileştirmek için yelek, gözlük, kask ve saati birleştiren genişletilebilir bir akıllı cihaz tasarladılar. Sistem, bireysel sensörden algılanan verilerin mobil yazılım sistemine aktarır (Mardonova vd., 2018). Akıllı saatler, hareket algılama, küresel konumlandırma sistemi (GPS), navigasyon sistemleri ve sağlık/fitness izleme özellikleri gibi ek özellikler ile normal bir saatin işlevselliğini bir araya getirir (Khoa, 2015). Başka bir çalışmada ise, kask ve güvenlik gözlüğü gibi kişisel koruyucu ekipmanlara takılan sensörler, yeraltı madenciliği tehlikeleri hakkında veri toplamak için akıllı telefonlara ve akıllı saatlere bağlandı. Bu,

durum farkındalığını artırmak için gerçek zamanlı bilgi ve uyarıların sağlanmasını mümkün kılmıştır. Teknoloji ayrıca, zamanında müdahaleyi mümkün kılmak için İSG olaylarını da tahmin edebilir (Adjiski vd.,2019) .

Parate ve diğerleri, sigara içme gibi belirli el hareketlerini algılayan ve bunları birçok alakasız el hareketinden ayıran sensörler aracılığıyla sigara içme aktivitelerini ölçebilen bir akıllı saat tanımlamıştır (Parate ve Ganesan,2017). Akıllı gözlükler ve kamera ekranlı akıllı gözlükler, uzak yerlerde bulunan çalışanlara uyarılar ve bildirimler gönderebilir (Mardonova vd., 2018). Delabrida ve diğerleri, kullanıcıların çevresini ve bir nesneye olan mesafeyi ölçebilen sensörlerle birleştirilmiş bir baş üstü ekrandan (HUD) oluşan giyilebilir bir kişisel koruyucu donanım tasarlamıştır.

2.1.3 Otonom robotlar

Otonom robotlar birçok alanda olduğu gibi maden sahalarında da kullanılmaktadır. İş kazası ve meslek hastalığı riskini azaltması, verimlilik ve süreklilik sağlaması, gibi nedenlerle tercih edilmektedir. Carnegie Mellon Üniversitesi'nde maden sahalarındaki galerileri haritalamada kullanabilen bir otonom robot geliştirilmiştir. Faaliyeti biten ve artık kullanılmayan maden sahalarında gaz birikme problemleri yaşanabilmektedir. Bu sahaları kontrol edebilmek, için uzaktan kontrol edilebilen bu robot kullanılmıştır (Russell & Norvig, 2003).

Caterpillar şirketi otonom maden taşıma kamyonları üretmiştir. Bu kamyonlar mola vermeden çalıştığı için maden sahalarında verimliliği artırmış ve çalışmada sürekliliği sağlamıştır (Dyson, 2019). Mobil otonom robotlar ve IoT (Nesnelerin interneti)teknolojisi, maden çalışanlarının sağlığı ve güvenliği açısından da önemlidir çünkü maden sahası ve çalışanları hakkında gerçek zamanlı bilgi sağladığı için tehlikeli durum ve davranışlardan çalışanları uzaklaştırır (Günther,2019).

Otonom robotlar, insanların ulaşamadığı yeraltı madenindeki alanlara erişmesini sağlayan kablosuz bir sensör ağı ile entegre edilebilir. Sensör ağı, tehlikeli gazların varlığı ve konsantrasyonları, oksijen bulunabilirliği, hava sıcaklığı, hava hızı ve madenlerin nemi hakkında veri toplayabilir. Ayrıca, pH, sülfat içeriği, elektriksel iletkenlik ve ağır metal içeriği gibi maden suyu kalitesiyle ilgili verileri yakalayabilirler. Robot, robotu ve sensörleri kontrol eden Nesnelerin İnterneti için araçları koruyabilir. Bir robot kullanmak, bakım veya madencilik faaliyetleri için yeraltı madenindeki bilinmeyen alanlara erişme risklerini önemli ölçüde azaltır (Günther,2019). Genel olarak otonom robotlar çok tehlikeli işlerde kullanılarak insan katılım ihtiyacını azaltır böylece çalışanın sağlık ve güvenlik riskini ortadan kaldırır (Ghasemi vd.,2012).

2.1.4 Nesnelerin interneti (Internet of Things- IoT)

Cihazların internet üzerinden, çoğunlukla kablosuz olarak etkileşimde bulunma şeklidir. IoT teknolojisiyle cihazlar arasında her türlü bilgi gerçek zamanlı olarak paylaşılmakta ve uzaktan kontrol edilebilmektedir (Johnson, 2015). IoT, gerçek zamanlı gözlemlerin ve olayların doğrudan bir İSG yönetim sistemine ve çevrimiçi İSG kayıtlarına kaydedilmesine olanak tanıyarak ihtiyaç anında bilgi erişimi sağlamaktadır (Stacey vd., 2018). İSG alanında, özellikle personel takibi için IoT kullanılmaya başlanmıştır. Kömür madenciliğinde IoT ile gerçekleştirilen personel takibi ile kaza esnasında anlık yer tespiti yapılabilmekte ve erişim sağlanabilmektedir (Tepe, 2021). Benzer şekilde, araç/insan çarpışmasını önleyici haberleşme sistemleri ile çalışma ve hareketsizlik sensörleri sayesinde verilerin toplanması gibi çözümler IoT teknolojisi ile geliştirilmiştir (Uzun, 2019).

Sinha ve arkadaşları, yeraltı maden işçilerini aktif olarak izlemek ve acil durumlarda anında yardım sağlamak için ZigBee tekniklerine dayalı IoT'nin kullanıldığını bildirmiştir (Sinha vd.,2019). Yüzlerce maden işçisinin rutin olarak makineyle ilgili yaralanmalara karıştığı bilinmektedir. Bu nedenle, IoT’nin,

zararlı çalışma koşullarında etkili bir şekilde kullanılabilen son derece değerli akıllı makine izleme sistemi sağlaması beklenmektedir. Nesnelerin İnterneti'ne dayalı arızalı kilitleme/etiketleme prosedürleri, kullanılarak iş kazalarının önüne geçilebilir (McNinch vd.,2019).

2.1.5 Yapay zeka (Artificial Intelligence - AI) destekli güvenlik sistemleri

Yapay zeka, insan beynine benzer biçimde bilgi elde etmek amacıyla tasarlanan bilgisayar programıdır (Stauba vd., 2015). Robotik sistemlerin, birbirleri ile iletişim kurması yapay zeka ile mümkündür (Kiplas, 2020). Birçok teknoloji, AI algoritmaları ile birlikte kullanılmakta ve giderek iyileştirilmektedir. Örneğin, yapay zeka görüntü işleme teknolojisi ile kamera görüntüleri talep edilen içeriğe göre işlenerek erken uyarı sağlamakta, bu sayede proaktif önlemler geliştirilebilmektedir. Yangın tespiti için kameralara yerleştirilen yazılımlarla, kameraya ulaşan alev görüntüsü ile uyarı sistemleri çalıştırılabilmektedir (Uzun, 2019).

Microsoft'un geliştirdiği yapay zeka destekli iş güvenliği takip sistemi ile çalışanlar ve yaptıkları faaliyetler, araçlar ve donanım kullanımları anlık olarak takip edilebilmekte; tehlikeli alanlar ve risklerin tespiti ile kazaların önlenmesi hedeflenmektedir. Sistemde bulunan kamera ve yüz tanıma sistemiyle iş yerindeki giriş ve çıkışlar kontrol altına alınmakta, işyerinde yabancı kişi tespit edildiğinde sistem uyarı vermektedir.

Ürün veren ve diğerlerinin yaptığı çalışmada (2018), optik yansıma esasına göre çalışan sistemlerden farklı olarak kamera ile renk ayrımı yapan bir sistem geliştirilmiştir. Bu sistem, izleme uygulamalarını hızlı, güvenilir ve yüksek hassasiyette ölçebilecek adapte edilebilir bir sistemdir. Kömür tozu patlama riski, cihazın anlık ve hızlı ölçümü sayesinde maden ocağında kömür tozunun yoğun olarak bulunduğu alanlara taş tozunun zamanında ve yeterli miktarda ilavesiyle azaltılabilecektir. Yapılan çalışmada geliştirilen cihazda olduğu gibi bu tipte kamera sistemi ve yapay zekâ ile bütünleşik çalışan bir sistem ilk defa

geliştirilmiştir. Kameradan aldığı kömür numunelerinin görüntülerine göre yapay zekâ ve makine öğrenmesi yöntemleri kullanarak, kömür tozu/taş tozu karışımlarının oranlarını (ağırlıkça %) tahmin etmiş ve bu karışımların patlayabilirlik dereceleri belirlenmiştir. Ortamdaki metan gazı biliniyorsa, bu değer de, sisteme dahil edilerek kömür tozu patlayabilirlik ölçme sistemi, metan gazı konsantrasyonunu da dikkate alarak tayin edebilmektedir. Bu işlemler için görüntü işleme, sayısal veri işleme ve filtreleme teknikleri ile veri çıkarımı yapılmakta, işlemcisi üzerinde bulunan yapay zekâ yazılımı ile tahminde bulunmaktadır. Sistem kömür tozu numunesinin kamera görüntüsünden elde edilen renk bileşenlerine ve/veya ağırlığına bağlı olarak kömür tozu numunesinin patlayabilirlik derecesini belirlemekte ve ölçülen sonuca göre yönlendirmektedir(Ürünveren vd.2018).

2.1.6 Gerçek zamanlı konum belirleme teknolojisi (real time location system - rtls)

RTLS, çalışma alanında bulunan nesnelerin ve çalışanların konumlarının sürekli olarak izlenmesine ve tanımlanmasına olanak tanıyan, ekipmanların ve çalışanların olması gereken yerde olup olmadığını tespit ederek riskleri ve kazaları önleyebilen bir sistemdir. Osunmakinde'nin yaptığı bir çalışmayla yeraltı madencilik faaliyetlerini izleyebilen bluetooth tabanlı bir yeraltı navigasyon sistemi geliştirildi. Bu sistem, bir yeraltı Bluetooth ağı tarafından etkinleştirildi. Bu sayede çalışanları sürekli izleme ve bilgisayarlı görme sağlandı (Osunmakinde,2013).

2.1.7 Artırılmış gerçeklik (Augmented Reality - AR)

Gerçek dünyadaki nesnelerin bilgisayar yardımıyla ses, grafik gibi verileri üretildikten sonra, duyusal yolla zenginleştirilerek fiziksel ortamla birleştirilmesi sonucu oluşturulan yeni algı ortamının canlı, doğrudan ya da dolaylı bir görünümüdür (Graham vd., 2014). Artırılmış gerçeklik uygulamaları ile, iş sağlığı

ve güvenliği eğitimlerinde yenilikçi bir dönem başlamış; eğitimlerdeki mekan ve ekipman gibi birçok kısıt ortadan kalkmıştır. AR ile teorik olarak deneyimlenmesi mümkün olmayan; acil durum, yangın gibi durumları çalışanlara sanal ortamda aktararak bilinç kazandırmak mümkündür. Çalışanlar makinelerin çalışma prensibini uygulamalı olarak sanal ortamda öğrenebilmekte, tehlike ve risklerle etkileşim halinde olmadıklarından riskler önceden deneyimlenerek güvenli çalışma ortamı oluşturulmakta, eğitim yapılırken iş ve makine adaptasyonu sağlanarak, zamandan ve paradan tasarruf edilmektedir (Topaloğlu ve Şahin, 2021).

2.1.8 Bulut bilişim (Cloud Computing)

Giyilebilir cihazlardan buluta gelen verilerle olası kaza anında, tüm çalışanlar uyarılarak anında müdahale olanağı ile olay hızlı şekilde çözülebilmekte; risklerin tekrarlanmaması adına tüm veriler kaydedilmekte, etiketlerdeki bilgiler depolama ve işleme için sensör verileri ile bulut veri sitemine aktarılarak ve sonuçlar görselleştirilerek yetkililere sunulmaktadır. Böylece tespit edilen donanım arızaları ve çalışanların sağlık sorunları anlık takip edilebilir hale gelirken, kaza oranları da azaltılabilmektedir (Topaloğlu ve Şahin, 2021).

2.1.9 İBM Maximo yazılımı

AI, loT ve bulut teknolojileri ile entegre yazılım IBM Maximo İş Güvenliği Sistemi, Endüstri 4.0 ile uyumlu şekilde, gelişmiş analitik analizler ile çeşitli cihazlardan (loT destekli giyilebilir cihazlar, cep telefonu gibi) ve çevreden gelen sensörler sayesinde, verilere gerçek zamanlı erişim sağlayarak tesis ve çalışanları bütünsel olarak yönetilebilmekte; risk ve sorun yaratacak ihlaller, sensör tabanlı tahmin ve izleme teknolojileriyle tespit edilerek proaktif önlemler alınabilmektedir. Bu sayede sistem, tehlikeleri tanımlayarak ortadan kaldırmayı kolaylaştırmaktadır (Ekmekçi ve Ekmekçi, 2020;Kahraman, Yürüten Özdemir, 2022)

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Yapılan incelemelere göre, maden sahalarında iş sağlığı ve güvenliği önlemlerinin artırılması ve iş kazalarının önlenmesi için yapay zeka uygulamalarının kullanımı son derece etkili bir yöntem olarak karşımıza çıkmaktadır. Sensör teknolojisi sayesinde elde edilen verilerin yapay zeka algoritmalarıyla işlenerek analiz edilmesi, risk faktörlerinin tespit edilmesi ve gerekli önlemlerin alınması konusunda büyük bir katkı sağlamaktadır. Bu sayede, iş kazaları ve meslek hastalıklarının sayısı azaltılabilir ve çalışma koşulları daha güvenli hale getirilebilir. Ancak, yapay zeka uygulamalarının karmaşıklığı ve iç içe geçmiş yapısı nedeniyle bu alanda tam anlamıyla bir sınıflandırma yapmak zaman zaman zor olabilmektedir.

Yapay zeka ve otonom robotların iş hayatına entegrasyonu, verimliliği artırarak çalışanların daha güvenli bir şekilde işlerini yapmalarına olanak tanıyabilir. Özellikle tehlikeli ve riskli çalışma alanlarında insan faktörünün azaltılması, iş kazalarının ve meslek hastalıklarının önlenmesinde önemli bir adım olabilir. Bununla birlikte, ilerleyen yıllarda yapay zeka ve robot teknolojilerinin iş gücünü yerinden ederek işsizlik oranlarını artırabileceği endişesi de bulunmaktadır. Bu nedenle, yapay zeka uygulamalarının etkin ve dengeli bir şekilde yönetilmesi, insanların iş güvenliğinin ve çalışma koşullarının korunması için gereklidir.

Maden sahalarında kullanılan yapay zeka uygulamaları iş sağlığı ve güvenliği alanında önemli bir potansiyele sahip olsa da, bu teknolojilerin insan faktörünü tamamen devre dışı bırakması ve iş gücünü yerinden etmesi endişe yaratmaktadır. Bu nedenle, yapay zeka uygulamalarının çalışma hayatına entegrasyonunda dikkatli bir dengeleme yapılmalı, çalışanların hakları ve iş güvencesi korunmalıdır. Teknolojinin insanlığa sağladığı faydaların, risklerinden daha fazla olması için gerekli tedbirlerin alınması gerekmektedir.

4. SONUÇ

Teknolojinin ilerlemesi ve yapay zekanın çalışma hayatına girmesiyle bir çok iş kolaylaşmış, verimlilik ve süreklilik artmış, insan gücüne gereksinim azalmıştır. İnsan gücünün azalmasıyla kaza sayıları da azalacaktır. Yapay zeka proaktif çözümler sunmasıyla maden çalışmaları alanında iş kazası ve meslek hastalığını önleyebilir. Gelecekte de iş sağlığı ve güvenliği alanında çok çeşitli faydalarının hızla artacağı öngörülmektedir.

Ancak, bu teknolojilerin insan iş gücünü yerinden ederek işsizlik oranlarını artırma riski de bulunmaktadır. Bu nedenle, yapay zeka uygulamalarının etkin bir şekilde yönetilmesi ve çalışma hayatına entegrasyonunda dikkatli bir dengeleme yapılması gerekmektedir. İnsanların güvenliği ve iş güvencesi her zaman öncelik olmalıdır.

KAYNAKLAR

Adjiski V, Despodov Z, Mirakovski D, Serafimovski D. System architecture to bring smart personal protective equipment wearables and sensors to transform safety at work in the underground mining industry. Rud Zb. 2019;34:37–44.

Altun M., Uçar Altun S., Kutlu E., 2023,Yapay Zeka Uygulamaları,Ortaokul ve Lise Öğretmen El Kitabı, Ankara, sayfa;18,54,ISBN 978-975-11-73-42-3

Baek J, Choi Y, Lee C, Suh J, Lee S. BBUNS: Bluetooth Underground Support Navigation Beacon-Based System to Mine Haulage Operations. Minerals. 2017;7.

Corrigan C., ve Laye P.,2022,The Use of AI in the Mining Industry – Insights and Ethical Considerations, Technical University of Munich School of Social Science and Technology Institute for Ethicsi

Coşkun, F. ve Gülleroğlu D. H.,(2021), Yapay Zekanın Tarih İçindeki Gelişimi ve Eğitimde Kullanılması, Ankara Üniversitesi Eğitim Bilimleri Fakültesi Dergisi Cilt: 54, Sayı: 3, 947-966 DOI: 10.30964/auebfd.916220**,**

Delabrida,S.E.;Angelo,T.D.;Oliveira,R.A.R.;Loureiro,A.A.F.Towards a Wearable Device for Monitoring Ecological Environments. In Proceedings of the 2015 Brazilian Symposiumon Computing Systems Engineering(SBESC) ,Brazil, 3–6November2015;pp.148–153.

Dyson, N. (2019, 5 Eylül). BHP, Jimblebar'da otonom kamyon sayısını ikiye katlayacak. Madencilik Dergisi. https:// www.miningmagazine.com/innovation/ haberler/1331400/bhp-otonom- kamyonları-jimblebar'da- çift özerk-kamyonlara-sevk ediyor

EU-OSHA. Impact of Artificial Intelligence on Occupational Safety and Health. Bilbao, Spain; 2021.

Graham IO.,2013, Towards Safety from Toxic Gases in Underground Mines Using Wireless Sensor Networks and Ambient Intelligence. Int J Distrib Sens Networks. 2013;9:159273. Available:https://doi.org/10.1155/2013/159 273

Günther F, Mischo H, Lösch R, Grehl S, Güth F.,2019, Increased safety in deep mining with iot and autonomous robots. In: Mining Goes Digital. CRC Press, bll. 2019;603 611

Haas EJ, Cecala AB, Hoebbel CL.,2016, Using Dust Assessment Technology to Leverage Mine Site Manager-Worker Communication and Health Behavior: A Longitudinal Case Study. J Progress Res Soc Sci. 2016;3:154–167.

Hazarika P.,2016, Implementation of smart safety helmet for coal mine workers. In: 2016 IEEE 1st International Conference on Power Electronics, Intelligent Control and Energy Systems (ICPEICES). Bll. 2016;1 3.

https://sozluk.gov.tr/(12.04.2025)

Hyder, Z., Siau, K., & Nah, F. (2019). Artificial Intelligence, Machine Learning, and Autonomous Technologies in the Mining Industry. Journal of Database Management, 30(2), 67–79. https://doi.org/10.4018/jdm.2019040104

Jones C. I.,1995,Based Models of Economic Growth STOR The Journal of Political Economy, Volume 103, Issue 4 (Aug., 1995), 759-784. Stable URL:http://links.jstor.org/sici?sici=0022-3808%28199508%29103%3A4%26lt%3B759%3AR%26DMOE%3E2.0.CO%3B2-8

Kahraman Z., Yürüten Özdemir K., (2022), Dijitalleşmenin İş Sağlığı ve Güvenliğine Entegrasyonu ve Uygulanabilirliği, Cilt 5, Sayı 3, Sayfa: 208-221, https://dergipark.org.tr/tr/pub/ohsacademy

Keserer E.,(2023),Madencilik ve Yer Bilimleri Dergisi,Sayı 115, Sayfa 130

Khoa, T. V. A.,2015, "Wearable Smart Technologıes: New Era Of Technology", Lapland University of Applied Sciences,Degree Programme in Innovative Business Services, Thesis.

McCarthy J., Minsk, M.L., Rochester N., (1955),A Proposal For The Dartmouth Summer Research Project On Artıfıcıal Intellıgence,

McNinch M, Parks D, Jacksha R, Miller A.,2019, Leveraging IIoT to Improve Machine Safety in the Mining Industry. Mining, Metall Explor. 2019;36:675–681. https://doi.org/10.1007/s42461 019-0067-5

Mesleki Ve Teknik Anadolu Lisesi Yapay Zekâ Ve Makine Öğrenmesi 11-12. Sınıf Ders Materyali,(2020), Milli Eğitim Bakanlığı, ISBN: 978-975-11-7116-0

Moody, vd., (1990), Neural Network Navigation in llndrground Coal Mines. Pro of the Fourth Conf on the Use of Computers in the Coal Industry, Wang & Sanford (Ed.), S. 15-19. 20-22, ABD

N. Lilic´ n, I. Obradovic´, A. Cvjetic ,(2010),An İntelligent Hybrid System For Surface Coal Mine Safety Analysis, Engineering Applications of Artificial Intelligence 23 (2010) 453–462

Osunmakinde IO.,2013, Towards Safety from Toxic Gases in Underground Mines Using Wireless Sensor Networks and Ambient Intelligence. Int J Distrib Sens Networks. 2013;9:159273. Available:https://doi.org/10.1155/2013/159 273

Özfırat M.K.(2009), Robotik Sistemler ve Madencilikte Kullanımının Araştırılması Tübav Bilim Dergisi, Cilt:2, Sayı:4, Sayfa:412-425

Pishgar M., Issa S. F., Sietsema M., Pratap P., Darabi H., 2021, REDECA:ANovelFrameworktoReviewArtificial Intelligence and Its Applications in Occupational Safety and Health, Int. J. Environ. Res. Public Health 2021, 18, 6705. https://doi.org/10.3390/ijerph1813670

Russell, S.J. and Norvig, P. (2003) Artificial Intelligence: A Modern Approach.

Şahin M.E., Topaloglu İ.,2021,Endüstri 4.0'ın İş Sağlığı ve Güvenliğine Katkıları ve Hata Türü ve Etkileri Analizi (FMEA) Risk Değerlendirme Metoduyla Ambulansta Bir İnceleme, Cilt: 9 Sayı: 2, 66 - 94, 31.12.2021

Tang, K. H. D.,2024,Artificial Intelligence in Occupational Health and Safety Risk Management of Construction, Mining, and Oil and Gas Sectors: Advances and Prospects,Journal of Engineering Research and Reports, Cilt 26, Sayı 6, Sayfa 241-253, 2024; Makale no.JERR.117459 ISSN: 2582-2926. https://doi.org/10.9734/jerr/2024/v26i61177

Ürünveren A., Özyıldırım M. B., Avcı M., Ural S., Kamera Görüntüsü Tabanlı Kömür Tozu Patlayabilirlik Ölçme Sistemi, Çukurova Üniversitesi Mühendislik Mimarlık Fakültesi Dergisi, 33(4), ss. 123-132, Aralık 2018

YÜKSEK RİSKLİ SEKTÖRLERDE İŞ SAĞLIĞI VE GÜVENLİĞİ UYGULAMALARI: MADENCİLİK ÖRNEĞİ

OCCUPATIONAL HEALTH AND SAFETY PRACTICES IN HIGH-RISK SECTORS: THE CASE OF MINING

Fatih Ulukaya
Kütahya Sağlık Bilimleri Üniversitesi Simav Sağlık Hizmetleri Meslek Yüksekokulu Tıbbi Hizmetler veTeknikleri Bölümü, Kütahya

ÖZ: Madencilik sektörü, sahip olduğu yapısal zorluklar ve çalışma koşulları nedeniyle iş sağlığı ve güvenliği (İSG) açısından en riskli sektörlerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu çalışmada, Türkiye'de madencilik sektöründe İSG uygulamalarının mevcut durumu değerlendirilmiş, karşılaşılan temel sorunlar analiz edilmiş ve iyileştirme stratejileri önerilmiştir. Araştırma, literatür taramasının yanı sıra Kütahya bölgesinde yürütülen saha araştırmalarını içermektedir. 100 madenci ve 17 iş güvenliği uzmanla gerçekleştirilen görüşmeler sonucunda, sektörde risk algısının düşük olduğu, eğitimlerin yetersiz kaldığı, denetimlerin sınırlı düzeyde yapıldığı ve teknolojik altyapının eksik olduğu belirlenmiştir. Bu bulgular ışığında, uygulamalı eğitimlerin artırılması, bağımsız denetimlerin yaygınlaştırılması, teknolojik yatırımların teşvik edilmesi ve çalışan katılımına dayalı yönetim modellerinin hayata geçirilmesi önerilmektedir. Bu çalışmanın, madencilik sektöründe sürdürülebilir bir İSG kültürünün oluşmasına katkı sağlaması hedeflenmektedir.

Anahtar Kelimeler: *İş sağlığı ve güvenliği, madencilik sektörü, yüksek risk, saha araştırması, önleme stratejileri*

ABSTRACT: The mining sector is considered one of the most hazardous industries in terms of occupational health and safety (OHS) due to its structural challenges and harsh working conditions. This study evaluates the current state of OHS practices in the mining sector in Turkey, analyzes the major problems encountered, and proposes improvement strategies. The research is based on both a literature review and fieldwork conducted in the Kutahya region. Interviews were carried out with 100 miners and 17 occupational safety experts. The findings reveal that risk perception among workers is low, training programs are insufficient, inspections are limited in scope, and technological infrastructure is lacking. Based on these findings, the study recommends enhancing practical training, expanding independent inspections, encouraging technological investments, and implementing participatory management models. The overall aim is to contribute to the development of a sustainable OHS culture in the mining sector.

Keywords: *Occupational health and safety, mining sector, high-risk industries, field research, prevention strategies*

1. GİRİŞ

Madencilik sektörü, doğası gereği fiziksel, kimyasal ve ergonomik risklerin en yoğun görüldüğü alanlardan biridir. Yer altı ve yer üstü madenciliğinin teknik zorlukları, kapalı ortamlarda çalışma, gaz kaçakları, göçük riski, patlama ve yangın gibi olaylarla birlikte sektörü çalışanlar açısından hayati derecede riskli kılmaktadır. Uluslararası çalışma örgütlerinin verilerine göre, madencilik sektörü iş kazaları ve meslek hastalıkları açısından ilk sıralarda yer almaktadır. Bu durum, İş Sağlığı ve Güvenliği (İSG) uygulamalarının etkinliğini hayati hale getirmektedir. Madencilik, endüstriyel hammaddelerin çıkarılması ve işlenmesinde kullanılan hayati öneme sahip kaynakları ifade eder. Bu sektör, enerji üretiminden inşaat sanayine kadar birçok alana temel girdi sağlayarak ekonomik kalkınmada önemli bir rol üstlenir. Ancak madencilik faaliyetleri, özellikle yer altı çalışmaları nedeniyle ciddi iş sağlığı ve güvenliği (İSG) riskleri barındırır. Yer altı galerilerinde, açık ocaklarda ve diğer maden sahalarında çalışan işçiler, günlük faaliyetleri sırasında yüksek düzeyde riskle karşı karşıya kalmaktadır. Tünel çökmeleri, gaz patlamaları, toz maruziyeti, ağır makine kullanımı ve benzeri unsurlar, sektördeki iş kazalarının ve meslek hastalıklarının başlıca nedenleridir(Külekci,2023). Bu çalışmanın temel amacı, madencilik sektöründe sürdürülebilir bir iş sağlığı ve güvenliği kültürünün oluşmasına katkı sağlaması hedeflenmektedir.

1.1. Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliğine İlişkin Mevzuat ve Yasal Düzenlemeler

Osmanlı İmparatorluğu döneminde sanayileşmenin gecikmesi nedeniyle iş sağlığı ve güvenliği alanında düzenlemeler sınırlıydı. Ancak 19. yüzyılın ortalarından itibaren Batı etkisiyle bazı hukuki düzenlemeler yapılmıştır. Bu düzenlemeler genellikle maden işletmeleri ve fabrikalarda çalışan işçilerin

güvenliğini hedeflemiştir. Bu dönemde madencilik alanında Dilaver Paşa Nizamnamesi (1865) ve Maadin Nizamnamesi (1869) iş sağlığı ve güvenliğine ilişkin ilk yasal düzenlemelerdir. Osmanlı Devleti'nde maden işletmelerine yönelik genel düzenlemeleri içeren bu nizamnameler, iş güvenliğine dolaylı olarak katkı sağlamıştır. Maden ocaklarının nasıl işletileceği, denetim şartları ve ruhsatlandırma konularını kapsamaktadır. Ayrıca, işçilerin can güvenliğini riske atacak işletmelerin kapatılması yetkisi idareye verilmiştir(Ergüven,2014). Türkiye'de cumhuriyet dönemiyle beraber iş sağlığı ve güvenliği alanında bir takım çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. İlk olarak 1930 yılında umumi hıfzıssıhha kanunuyla genel sağlık önlemlerinin yanında işyerlerinin sağlık koşullarını da kapsayan birçok çalışmayı içermektedir. Cumhuriyet tarihinin ilk kapsamlı iş kanunu olan 3008 sayılı iş kanunu işçilerin hakları, çalışma saatleri, iş güvenliği ve denetim sistemiyle ilgili hükümler içermiştir. İş kazaları ve meslek hastalıklarının önlenmesine yönelik hükümler barındırır. Kadın ve çocuk işçilerin korunmasına ilişkin özel hükümler getirmiştir(Demircioğlu,2003). Bu iş kanunu zaman içerisinde yerini 1475 Sayılı İş Kanununa bırakmıştır. Bu kanunla birlikte iş güvenliği ve sağlığına dair daha sistemli bir yaklaşım getirilmiştir. İşverenin işyerinde gerekli sağlık ve güvenlik önlemlerini alma zorunluluğu vurgulanmıştır. İş güvenliği uzmanı ve işyeri hekimi gibi kavramlar fiilen uygulanmaya başlanmıştır. 2003 yılına gelindiğinde ise 4857 sayılı iş kanunu yürürlüğe girmiş ve iş sağlığı ve güvenliği alanındaki çalışmalar bu kanunun beşinci bölümünde yer almıştır. Günümüzde hâlâ geçerli olan bu yasa, AB uyum süreciyle birlikte hazırlanmış ve İSG konularına geniş yer ayırmıştır. "İş sağlığı ve güvenliği" başlığı altında işverenin yükümlülükleri açıkça belirtilmiştir. Risk değerlendirmesi, önleyici yaklaşım ve eğitim gibi unsurlar vurgulanmıştır. Türkiye'de iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları, uzun yıllar boyunca 4857 sayılı İş Kanunu'nun 5. Bölümünde yer alan 77 ila 89. maddeleri ve çeşitli diğer yasal düzenlemeler çerçevesinde yürütülmüştür. İş sağlığı ve güvenliği konusu sadece İş Kanunu'na bağlı kalınarak yürütülemeyecek kadar kapsamlı bir alan hâline

gelmiş ve bu alanda müstakil bir kanunun gerekliliği uzun süre tartışılmıştır. Bu doğrultuda, 20 Haziran 2012 tarihinde kabul edilen ve aynı tarihte yürürlüğe giren 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu, Türkiye'de iş sağlığı ve güvenliği alanında müstakil bir yasal çerçeve oluşturmuştur. Söz konusu kanun, kademeli geçiş hükümleriyle birlikte yürürlüğe girmiş ve bu geçiş sürecinin tamamlanmasıyla birlikte iş sağlığı ve güvenliği konusu ayrı bir mevzuat yapısı altında hukuk sistemimizde yerini almıştır. Bu süreç, Türkiye'de iş sağlığı ve güvenliği alanında kapsamlı, sistematik ve sürdürülebilir bir mevzuat altyapısının oluşumu açısından önemli bir dönüm noktası niteliği taşımaktadır(Korkmaz ve Avsallı,2012). İş sağlığı ve güvenliği alanının ayrı bir kanunla düzenlenmiş olması, önemli ve olumlu bir gelişme olarak değerlendirilse de, tek başına mevzuat düzenlemeleri güvenli ve sağlıklı bir çalışma ortamının oluşması için yeterli değildir. Kalıcı ve etkili bir İSG kültürünün inşası, sadece yasal zorunluluklara bağlı kalmadan, tüm paydaşların bilinçli ve kararlı katılımıyla mümkündür. İşverenlerin, çalışanların ve İSG profesyonellerinin "önce insan" ilkesini benimseyerek hareket etmeleri; sorumluluklarını titizlikle yerine getirmeleri ve İSG süreçlerine aktif şekilde katılmaları büyük önem taşımaktadır. Bu bağlamda, mevzuatın bir hedef değil, sağlıklı ve güvenli çalışma yaşamını destekleyen bir araç olarak görülmesi gereklidir. Özellikle kamusal otoritelerin rolü bu süreçte kritik öneme sahiptir. Devlet, sadece yasa koyucu değil; aynı zamanda rehberlik eden, teşvik edici ve destekleyici bir aktör olarak da hareket etmelidir. Bu doğrultuda; mevzuatın uygulanabilirliğini artırmaya yönelik yapıcı önlemler alınmalı, etkili ve caydırıcı denetim mekanizmaları tesis edilmeli ve özellikle küçük ve orta ölçekli işletmelere yönelik İSG hizmetleri yaygınlaştırılmalıdır(Kılkış,2013).

1.2. Madencilikte Risk Algısı, Eğitim ve Denetim Sorunları

Madencilik sektörü, iş kazaları ve meslek hastalıklarının en sık görüldüğü alanlardan biridir. Özellikle 13 Mayıs 2014'te Manisa'nın Soma ilçesinde

meydana gelen ve 301 madencinin hayatını kaybettiği faciayla, Türkiye tarihinin en fazla can kaybına yol açan madencilik kazası yaşanmıştır. Bu olay, kamuoyunda iş sağlığı ve güvenliği konusuna dair farkındalığın artmasına neden olmuştur. Bilgin ve arkadaşlarının yapmış olduğu çalışma incelendiğinde, maden kazalarına ilişkin risk algısının bölgesel farklılıklar gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ege Bölgesi'nde yaşayanların %86'sı, Doğu Anadolu'dakilerin %83'ü ve diğer bölgelerde yaşayanların %71-75'i maden kazalarını büyük bir tehdit olarak değerlendirmiştir. Eğitim düzeyine göre risk algısında anlamlı bir fark bulunmazken, kadınların erkeklere kıyasla maden kazaları konusunda daha kaygılı olduğu tespit edilmiştir(Bilgin ve vd. ,). Madencilik sektörü, doğası gereği yüksek risk barındıran bir çalışma alanıdır. Bu riskleri minimize etmek ve iş kazalarını önlemek için eğitim ve denetim faaliyetlerinin etkili bir şekilde yürütülmesi hayati öneme sahiptir. Ancak, Türkiye'de bu iki alanda da önemli yapısal ve uygulamaya yönelik sorunlar mevcuttur. İş sağlığı ve güvenliği eğitimleri, maden işçilerinin riskleri tanıması, güvenli çalışma yöntemlerini öğrenmesi ve acil durumlara karşı hazırlıklı olması açısından temel bir araçtır. Ne var ki, sektörde verilen İSG eğitimleri çoğu zaman teorik bilgiyle sınırlı kalmakta ve uygulamalı içerik yeterince yer bulmamaktadır. Eğitimlerin çoğu, işbaşına başlamadan önce kısa süreli sunulmakta ve süreklilik arz etmemektedir. Ayrıca, eğitim materyalleri çoğu zaman işçilerin eğitim ve okuryazarlık seviyesine uygun değildir. Bu durum, bilgilerin kalıcı olmasını ve uygulamaya yansımasını zorlaştırmaktadır. Eğitimlerin değerlendirme süreçlerinin yüzeysel yapılması da eğitimin etkinliğini düşüren diğer bir faktördür (Yılmaz, 2020). Yapılan bir araştırmada, madencilerin %63'ü aldıkları İSG eğitimlerinin işyeri koşullarını yansıtmadığını ve gerçek tehlikelere karşı hazırlık sağlamadığını ifade etmiştir (Özdemir & Karagöz, 2021). Ayrıca, eğitimlerin sık tekrar edilmemesi nedeniyle çalışanların zamanla öğrendiklerini unuttukları ve riskli davranışlara daha yatkın hale geldikleri belirtilmiştir. Eğitimin yanı sıra, etkin bir denetim mekanizması da iş sağlığı ve güvenliğinin temel dayanaklarından biridir. Ancak Türkiye'de maden

işletmelerine yönelik denetimlerin sıklığı ve derinliği, sektördeki risk düzeyi ile orantılı değildir. Özellikle özel sektör madenlerinde denetimlerin yüzeysel yapıldığı ve çoğu zaman belgeler üzerinden gerçekleştirildiği belirtilmektedir (TMMOB MMO, 2015). Denetimlerin azlığına ek olarak, denetim yapan personelin sayısının yetersizliği ve uzmanlık alanlarının madencilik sektörüyle doğrudan ilgili olmaması da sorunları derinleştirmektedir. Ayrıca, denetimlerin çoğu önceden haber verilerek yapıldığı için, işletmeler geçici iyileştirmelerle bu süreci geçiştirebilmektedir. Soma faciası sonrası hazırlanan TBMM Araştırma Komisyonu Raporu'nda da denetimlerin şekilsel olduğu, uygulamada ciddi eksiklikler bulunduğu ve işverenlerin mevzuata uyum konusunda yeterli baskı hissetmedikleri açıkça belirtilmiştir (TBMM, 2014). Madencilikte iş kazalarını ve meslek hastalıklarını azaltmak için eğitim ve denetim süreçlerinin niteliği artırılmalıdır. Bu kapsamda öneriler şunlardır:

Uygulamalı Eğitim Zorunluluğu: Maden işçilerine yönelik tatbikatlarla desteklenen uygulamalı eğitimler yasal zorunluluk haline getirilmelidir.

Eğitim Sürekliliği: Eğitimler sadece işe girişte değil, yılda en az iki kez tekrarlanacak şekilde planlanmalıdır.

Bağımsız Denetim Mekanizmaları: Devlet denetimlerinin yanı sıra, bağımsız uzmanlar tarafından denetim yapılmasına olanak tanıyan bir sistem oluşturulmalıdır.

Sürpriz Denetim Uygulaması: Habersiz yapılan saha denetimleri ile işletmelerin gerçek durumu ortaya konmalıdır.

Denetimci Niteliği: Denetim personelinin madencilik alanında uzmanlaşmış olması sağlanmalıdır.

1.3. Türkiye'de Madencilikte İSG Uygulamalarının Genel Durumu

Madencilik sektörü, Türkiye’de hem ekonomik katkısı hem de yüksek risk içermesi açısından kritik sektörlerden biridir. Yer altı ve yer üstü madencilik faaliyetlerinde iş sağlığı ve güvenliği (İSG) uygulamaları, yaşanan iş kazaları ve

meslek hastalıkları nedeniyle sürekli olarak gündemde kalmaktadır. Özellikle yer altı maden ocaklarında göçük, patlama, gaz sızıntısı, yangın ve benzeri olayların sıklığı, İSG uygulamalarının ne derece hayati olduğunu gözler önüne sermektedir. Türkiye'de İSG uygulamaları uzun yıllar genel iş kanunu hükümleriyle yürütülmüş; ancak sektöre özgü ihtiyaçlar, 6331 sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu'nun 2012 yılında yürürlüğe girmesiyle daha sistemli bir çerçeveye kavuşmuştur (ÇSGB, 2013). Bu kanun ile birlikte madenlerde risk değerlendirmesi, acil durum planları, çalışanların eğitimi ve sağlık gözetimi gibi birçok alanda yasal zorunluluklar getirilmiştir. Ancak uygulamada bu düzenlemelerin yeterince etkin hayata geçirilemediği pek çok saha araştırmasıyla ortaya konmuştur (Gürcanlı & Müngen, 2009). Saha temelli çalışmalar, Türkiye'deki birçok maden işletmesinde İSG kültürünün yüzeysel kaldığını ve çalışanların büyük bir bölümünün risk algısının düşük olduğunu göstermektedir (Yıldız, 2020). Özellikle küçük ölçekli özel sektör madenlerinde iş güvenliği uzmanı istihdamı, periyodik muayeneler, ekipman bakımı gibi temel uygulamalarda yetersizlikler mevcuttur. Öte yandan, Soma (2014), Ermenek (2014) ve Amasra (2022) gibi büyük maden faciaları, sistematik eksiklikleri ve denetim yetersizliklerini çarpıcı biçimde ortaya koymuştur. TBMM Soma Araştırma Komisyonu Raporu'nda da belirtildiği gibi, mevzuatın varlığına rağmen uygulama ve denetim mekanizmalarının zayıf olması, can kayıplarının başlıca nedenlerinden biridir (TBMM, 2014). Tüm bu değerlendirmeler ışığında, Türkiye'de madencilik sektöründe İSG uygulamalarının varlığı yasal bir gereklilik olarak şekillenmiş olsa da, uygulamada pek çok yapısal ve kültürel sorun devam etmektedir. Bu sorunların aşılabilmesi için yalnızca mevzuatın değil, aynı zamanda eğitim, teknoloji, denetim ve işyeri kültürü gibi destekleyici unsurların da güçlendirilmesi gerekmektedir.

2. MALZEME VE YÖNTEM

Bu çalışmanın temel amacı, madencilik sektörü özelinde iş sağlığı ve güvenliği (İSG) uygulamalarının mevcut durumunu analiz etmek, karşılaşılan başlıca sorunları ortaya koymak ve bu sorunlara yönelik etkin çözüm önerileri geliştirmektir. Çalışma ayrıca sektördeki iyi uygulama örneklerini belirleyerek bu deneyimlerin yaygınlaştırılmasını hedeflemektedir.

Bu kapsamda şu sorulara yanıt aranmıştır:

1. Madencilikte en yaygın iş sağlığı ve güvenliği riskleri nelerdir?
2. İSG mevzuatının madencilik sektörüne etkisi nasıldır?
3. Mevcut İSG uygulamaları ne düzeyde yeterlidir?
4. Etkin İSG yönetimi için hangi stratejiler uygulanmalıdır?
5. Çalışanların sahada karşılaştıkları risklere yönelik çözüm önerileri nelerdir?

Araştırma, nitel ve nicel yöntemlerin birlikte kullanıldığı karma bir modelle yürütülmüştür. İki temel veri kaynağına dayanmaktadır:

Literatür Taraması: Ulusal ve uluslararası literatürde yer alan bilimsel makaleler, TMMOB Maden Mühendisleri Odası raporları, SGK istatistikleri ve ILO belgeleri incelenerek sektördeki İSG sorunlarının genel durumu analiz edilmiştir.

Saha Araştırması: Kütahya bölgesinde faaliyet gösteren altı farklı maden işletmesinde 100 madenciyle anket çalışması gerçekleştirilmiş; ayrıca 10 iş güvenliği uzmanı ve 5 işletme yöneticisiyle derinlemesine görüşmeler yapılmıştır.

3. BULGULAR VE TARTIŞMA

Bu bölümde, saha araştırmasından elde edilen veriler ile literatür taraması bulguları birlikte ele alınarak madencilik sektöründeki iş sağlığı ve güvenliği (İSG) uygulamaları çok yönlü olarak tartışılmıştır.

Yaygın İSG Riskleri

Madencilerle yapılan görüşmeler sonucunda, sektörde en sık karşılaşılan risklerin başında göçük, patlama, toz maruziyeti, zehirli gazlar ve ekipman kaynaklı yaralanmalar gelmektedir. Katılımcıların %74'ü özellikle kapalı alanlarda havalandırma yetersizliğini ciddi bir risk olarak belirtmiştir. Bu bulgu, ILO raporları ve TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın yayımladığı saha analizleriyle de örtüşmektedir.

Mevzuatın Etkisi

İş güvenliği uzmanları ve yöneticilerle yapılan derinlemesine görüşmeler, mevzuatın genel çerçevesinin yeterli olmakla birlikte uygulamada ciddi denetim eksikliklerinin bulunduğunu ortaya koymuştur. Katılımcı uzmanların %60'ı, mevzuatın yalnızca kâğıt üzerinde kaldığını ve işletmelerin denetim olmaksızın sorumluluklarını yerine getirmediğini ifade etmiştir.

Mevcut Uygulamaların Yeterliliği

Elde edilen verilere göre, çalışanların %58'i mevcut İSG uygulamalarını "kısmen yeterli", %27'si ise "yetersiz" olarak değerlendirmiştir. En sık dile getirilen eksiklikler arasında eğitimlerin yetersizliği, koruyucu ekipman teminindeki düzensizlik ve yönetimin konuya yaklaşımındaki yüzeysellik öne çıkmaktadır. Bu durum, literatürdeki "İSG kültürü eksikliği" kavramıyla paralellik göstermektedir.

Etkin Yönetim Stratejileri

İşletme yöneticileri ve iş güvenliği uzmanlarının ortak önerileri arasında; sürekli eğitim programları, davranış odaklı güvenlik yönetimi, çalışan katılımını artıran mekanizmalar ve teknolojik izleme sistemlerinin kullanımı öne çıkmıştır. Literatürde de özellikle "katılımcı iş güvenliği kültürü"nün etkin yönetim için vazgeçilmez olduğu vurgulanmaktadır.

Çalışanların Çözüm Önerileri

Madencilerden gelen çözüm önerileri arasında en dikkat çekici olanlar; vardiya başı kısa güvenlik bilgilendirme toplantıları, yaşanan kazaların çalışanlarla açık

şekilde paylaşılması ve sahadaki güvenlik temsilcilerinin yetkilerinin artırılmasıdır. Bu öneriler, pratik uygulamaların sahada etkili olması açısından dikkate değerdir ve çalışan temelli çözüm üretiminin önemini göstermektedir.

4. SONUÇ

Bu çalışma, madencilik sektöründe iş sağlığı ve güvenliği (İSG) uygulamalarının mevcut durumunu ortaya koymak ve saha verileriyle desteklenmiş çözüm önerileri geliştirmek amacıyla gerçekleştirilmiştir. Elde edilen bulgular, sektörde yapısal, yönetsel ve kültürel düzeyde çeşitli sorunların devam ettiğini ortaya koymuştur. Araştırma sonuçlarına göre, madencilik sektöründe çalışanların en fazla maruz kaldığı riskler göçük, zehirli gazlar, toz maruziyeti ve ekipman kaynaklı kazalar olarak belirlenmiştir. Bu risklerin çoğu, teknik önlemlerle azaltılabilirken, bazıları ise bilgi eksikliği ve dikkatsizlik gibi insan faktörlerinden kaynaklanmaktadır. Bu durum, yalnızca teknik altyapının değil, aynı zamanda davranışsal güvenlik anlayışının da geliştirilmesi gerektiğini göstermektedir. İSG mevzuatının kapsamlı olmasına rağmen, uygulama ve denetim süreçlerinde ciddi eksiklikler bulunduğu anlaşılmaktadır. Özellikle denetimlerin sürekliliğinin sağlanamaması, mevzuatın caydırıcılığını azaltmakta ve bazı işletmelerin İSG'yi sadece zorunlu bir yükümlülük olarak görmesine yol açmaktadır. Mevcut uygulamaların büyük oranda "kâğıt üzerinde" kaldığı ve sahadaki çalışanların güvenlik algılarında güven erozyonuna neden olduğu gözlemlenmiştir. Çalışanların büyük bir bölümü, verilen eğitimlerin yetersizliğinden ve yönetimin ilgisizliğinden şikâyetçidir. Bu durum, güçlü bir güvenlik kültürünün henüz tam olarak kurumsallaşmadığını ortaya koymaktadır. Araştırmaya katılan uzman ve yöneticiler, etkili bir İSG yönetimi için teknoloji destekli izleme sistemlerinin kullanımını, sürekli ve davranış temelli eğitim programlarının yaygınlaştırılmasını ve çalışanların karar süreçlerine aktif katılımını önermektedir. Öte yandan çalışanların dile getirdiği çözüm önerileri, İSG süreçlerine tabandan gelen katkının değerini ve etkisini gözler önüne

sermektedir. Sonuç olarak, madencilik sektöründe sürdürülebilir bir iş sağlığı ve güvenliği sistemi kurulabilmesi için yalnızca mevzuatla değil; aynı zamanda kurumsal kültürle, liderlikle ve çalışan katılımıyla bütünleşik bir yaklaşımın benimsenmesi gerekmektedir. Bu bağlamda, iyi uygulama örneklerinin yaygınlaştırılması ve sistematik bir İSG kültürü inşası, sektörün en öncelikli hedefleri arasında yer almalıdır.

KAYNAKLAR

Akyıldız, F. ve Şahin, D. (2020). Madencilik sektöründe iş sağlığı ve güvenliği uygulamaları: Zonguldak örneği. *Çalışma ve Toplum Dergisi*, 66(1), 245–268.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (2006). Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliği: Tarihsel Gelişim ve Mevzuat. Ankara: ÇSGB Yayınları.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (2019). İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü Faaliyet Raporu.

Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı (ÇSGB) (2013). 6331 Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu Uygulama Rehberi. Ankara.

ÇSGB (2023). *İş Sağlığı ve Güvenliği Genel Müdürlüğü Yıllık İstatistikleri*. T.C. Çalışma ve Sosyal Güvenlik Bakanlığı. https://www.csgb.gov.tr

Demircioğlu, M. (2003). Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliğinin Tarihsel Gelişimi. Hacettepe Üniversitesi İİBF Dergisi, 21(1), 123–138.

Demirkol, İ. & Güneş, A. (2019). Maden ocaklarında risk değerlendirme uygulamaları ve iş kazalarının analizi. *İş ve İnsan Dergisi*, 6(2), 89–104.

Ergüven, M. (2014). Türkiye'de İş Sağlığı ve Güvenliği Alanındaki Yasal Düzenlemelerin Tarihsel Süreci. Çalışma ve Toplum, 1(40), 27–42.

Gunningham, N., Kagan, R. A., & Thornton, D. (2004). Social license and environmental protection: Why businesses go beyond compliance. *Law & Social Inquiry*, 29(2), 307–341.

Gürcanlı, G. E., & Müngen, U. (2009). "Analysis of Occupational Accidents in the Turkish Mining Industry and Discussion on Prevention Policies." Safety Science, 47(1), 36–47.

Heinrich, H. W., Petersen, D., & Roos, N. (1980). *Industrial Accident Prevention: A Safety Management Approach* (5th ed.). New York: McGraw-Hill.

ILO (2021). *Safety and health in mining*. International Labour Organization. https://www.ilo.org/global/topics/safety-and-health-at-work

Kılkış, İ. (2013). İş Sağlığı ve Güvenliği'nde Yeni Bir Dönem: 6331Sayılı İş Sağlığı ve Güvenliği Kanunu (İSGK). ISGUC The Journal of Industrial Relations and Human Resources, 15(1), 17-42.

Korkmaz, A., & Avsallı, H. (2012). Çalışma hayatında yeni bir dönem: 6331 sayılı iş sağlığı ve güvenliği yasası. Süleyman Demirel Üniversitesi Fen-Edebiyat Fakültesi Sosyal Bilimler Dergisi, 2012(26), 153-167.

Külekçi, G. (2023). Dünya Da Ve Türkiye Deki Maden Kazalarının İş Sağlığı Ve Güvenliği Açısından İncelenmesi. Ejons International Journal, 7(4), 623-633.

Önel, M. G. K. Ö., Başarir, H., Karadeniz, M., & Bilgiç, E. T. Türkiye 24. Uluslararasi Madencilik Kongresi Bildiriler Kitabi.

Özdemir, T., & Karagöz, B. (2021). "Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Değerlendirilmesi." İş Güvenliği ve Çevre Dergisi, 18(2), 75–88.

SGK (2023). *İş Kazaları ve Meslek Hastalıkları İstatistikleri*. Sosyal Güvenlik Kurumu Yayınları. https://www.sgk.gov.tr

TMMOB Maden Mühendisleri Odası (2015). Türkiye'de Madencilik ve İş Güvenliği Raporu.

TMMOB Maden Mühendisleri Odası (2021). Türkiye Madencilik Raporu 2021. Ankara.

TMMOB Maden Mühendisleri Odası (2022). *Türkiye'de Madencilikte İş Güvenliği Raporu*. Ankara: TMMOB Yayınları.

Türkiye Büyük Millet Meclisi (TBMM) (2014). Soma Maden Kazası Araştırma Komisyonu Raporu.

Türkiye Büyük Millet Meclisi (TBMM) (2014). Soma Maden Kazası Araştırma Komisyonu Raporu.

Yetkin, M. E., Ozfirat, M. K., & Onargan, T. (2024). Examining the optimum panel pillar dimension in longwall mining considering stress distribution. Scientific Reports, 14(1), 6928.

Yıldız, S. (2020). "Türkiye'de Madencilik Sektöründe İş Sağlığı ve Güvenliği Kültürünün Değerlendirilmesi." İş Güvenliği ve Çevre Dergisi, 6(2), 45–59.

Yılmaz, E. (2020). "İş Sağlığı ve Güvenliği Eğitimlerinin Etkinliği: Madencilik Sektörü Üzerine Bir İnceleme." Sosyal Bilimler Dergisi, 12(1), 55–70.

YERALTI PATLAYICI MADDE DEPOLARINDA TOPRAK KALINLIĞI VE GALERİ UZUNLUĞUNUN YÖNETMELİK ÇERÇEVESİNDE DEĞERLENDİRİLMESİ

EVALUATION OF SOIL/ROCK THICKNESS AND GALLERY LENGTH IN UNDERGROUND EXPLOSIVE STORAGE AREAS REGARDING THE REGULATIONS

Mehmet Emre Kılınç, Doğan Karakuş, Tuğçe Öngen
Dokuz Eylül Üniversitesi Maden Mühendisliği Bölümü, İzmir

Nedim Kirişçioğlu
Ak-Deniz Madencilik, Muğla

ÖZ: Günümüz madencilik sektöründe artan hammadde ihtiyacı ve ortalama ocak derinliklerinin artması nedeniyle hem açık hem de yeraltı maden işletmelerinde patlayıcı madde kullanımı giderek artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için işletmeler, dışarıdan patlatma ve patlayıcı hizmeti alabildikleri gibi kendilerine ait gezici, geçici veya sürekli yerüstü ve yeraltı patlayıcı depoları kurarak da bu ihtiyaçlarını giderebilmektedir. Ülkemizde sivil patlayıcı maddelerin üretilmesi için iş yeri kurulması ve işletilmesi, üretilen maddelerin ambalajlanması, taşınması, saklanması, depolanması, ithali, satışı, kullanılması, yok edilmesi, denetimi, yivsiz av tüfeklerinin, hava ve gaz basıncı ile çalışan ateşsiz nişan tüfek ve tabancalarının ve bunların parçalarının ithali ve alınacak güvenlik önlemlerine ilişkin usul ve esaslar 87/12028 Karar Sayılı Tekel Dışı Bırakılan Patlayıcı Maddelerle Av Malzemesi Ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul Ve Esaslarına İlişkin Tüzük kapsamında değerlendirilmektedir. İlgili Tüzük'de iki tür yeraltı galeri tipi patlayıcı deposunun olma amacı, ekonomik, çevresel, tüzel vb. koşulların sağlanamadığı durumlarda iki depolama türünden uygun olanı seçmek olması. İşletmelere ek seçenek olması açısından kolaylık sunmasıdır. İlgili Tüzük'e ait Ek:6'nın A bendinin dördüncü formülü tanımlanırken L=3y formülünde L uzunluğu için "bir gömme depoda sandıkların konulacağı galerinin uzunluğu" tanımı yapılmıştır. Ayrıca ilgili Tüzük'e ait Ek:6'nın B bendinde de "…depo hücresi, giriş galerisi sonunda buna dik olarak 4 numaralı formüle göre bulunacak (L) uzunluğunda galeri açılarak yapılır." ibaresi mevcuttur. Kullanılan bu ifadelerden dolayı ilgili kısımda belirsizlikler ortaya çıkmaktadır. İlgili Tüzük yeniden gözden geçirilmeli ve anlam karmaşası veya belirsizlik içeren tanım ve durumlar ortadan kaldırılmalıdır.

Anahtar Kelimeler: İşçi Sağlığı ve İş Güvenliği, Galeri Uzunluğu, Toprak Kalınlığı, Tüzük, Yeraltı Galeri Tipi Patlayıcı Madde Deposu.

ABSTRACT: *In today's mining sector, due to the increasing raw material demand and average pit depths, the use of explosives in both open and underground mining operations is increasing. In order to meet this need, enterprises can outsource blasting and explosive, as well as establishing their own mobile, temporary or permanent ground and underground explosive storages. In our country, the establishment and operation of workplaces for the production of civilian explosives, packaging, transportation, storage, import, sale, use, destruction and inspection of the produced substances, the import of smoothbore hunting rifles, air and gas pressure operated non-firing rifles and pistols and their parts, and the procedures and principles regarding the security measures to be taken are evaluated within the scope of the Regulation on the Procedures and Principles for the Production, Importation, Transportation, Storage, Sale, Use, Destruction and Inspection of Explosives, Hunting Equipment and Similar Materials Excluded from Monopoly, numbered 87/12028. The purpose of having two types of underground gallery type explosive storage in the relevant Regulation is to choose the appropriate one of the two storage types in cases where economic, environmental, legal etc. conditions cannot be met. It is to provide convenience to businesses in terms of being an additional option. While defining the fourth formula of paragraph A of Annex 6 of the relevant Regulation, the definition of "length of the gallery where the chests will be placed in a buried storage" is made for the length L in the formula L=3y. In addition, in paragraph B of Annex 6 of the relevant Regulation, there is the phrase "...storage cell is constructed by opening a gallery of length (L) to be found perpendicular to the entrance gallery at the end according to formula number 4." Due to these expressions used, ambiguities arise in the relevant section. The relevant Regulation should be reviewed again and definitions and situations containing ambiguity or uncertainty should be eliminated.*

Keywords: *Occupational Health and Safety, Gallery Length, Soil Thickness, Regulations, Underground Gallery Type Explosive Storage Area.*

1. GİRİŞ

Günümüz madencilik sektöründe artan hammadde ihtiyacı ve ortalama ocak derinliklerinin artması nedeniyle hem açık hem de yeraltı maden işletmelerinde patlayıcı madde kullanımı giderek artmaktadır. Bu ihtiyacı karşılamak için işletmeler, dışarıdan patlatma ve patlayıcı hizmeti alabildikleri gibi kendilerine ait gezici, geçici veya sürekli yerüstü ve yeraltı patlayıcı depoları kurarak da bu ihtiyaçlarını giderebilmektedir.

2. YÖNTEM

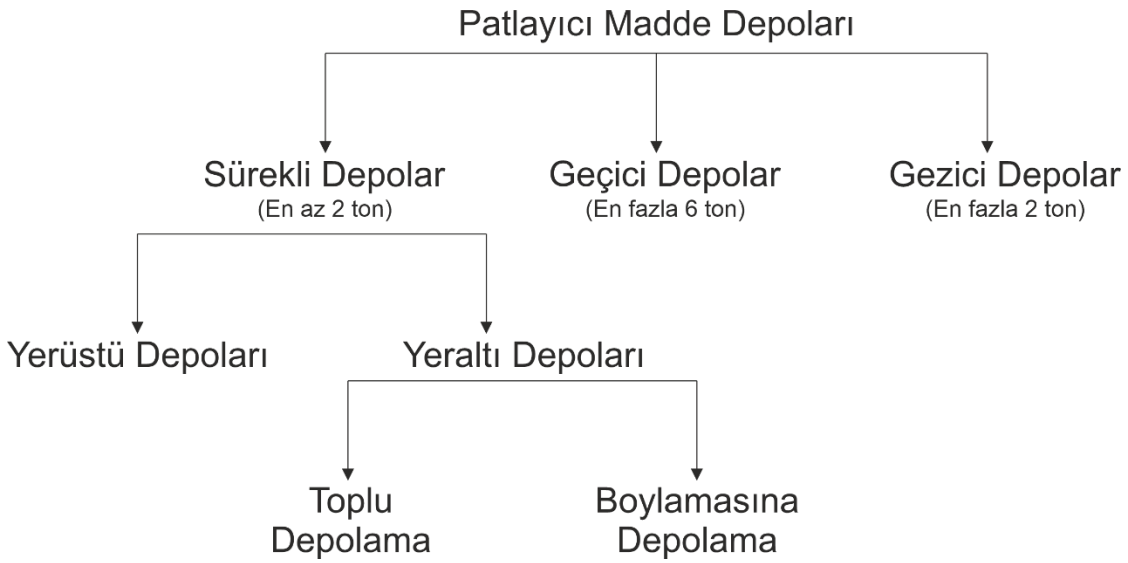
2.1. Patlayıcı Maddelerin Depolanmasının İlgili Tüzük' Deki Yeri

Ülkemizde sivil patlayıcı maddelerin üretilmesi için iş yeri kurulması ve işletilmesi, üretilen maddelerin ambalajlanması, taşınması, saklanması, depolanması, ithali, satışı, kullanılması, yok edilmesi, denetimi, yivsiz av tüfeklerinin, hava ve gaz basıncı ile çalışan ateşsiz nişan tüfek ve tabancalarının ve bunların parçalarının ithali ve alınacak güvenlik önlemlerine ilişkin usul ve esaslar 87/12028 Karar Sayılı Tekel Dışı Bırakılan Patlayıcı Maddelerle Av Malzemesi Ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul Ve Esaslarına İlişkin Tüzük kapsamında değerlendirilmektedir. Tüzük metni 137 maddeyi kapsamakta olup 10 kısımdan ve alt bölümlerden oluşmaktadır.

Patlayıcı maddelerin depolanması Tüzük 'ün 7. kısımında ele alınmıştır. Buna göre alt başlıklar aşağıdaki gibidir:

- Birinci Bölüm - Depolamada Genel Esaslar (Madde 82- 90 arası)
- İkinci Bölüm - Depo Kurmak Zorunda Olmayan Satıcı ve Kullanıcıların Uyacakları Kurallar (Madde 91-95 arası)
- Üçüncü Bölüm - Depo Kurmak Zorunda Olan Satıcı ve Tüketicilerin Uymak Zorunda Oldukları Kurallar (Madde 96 – 97)
- Dördüncü Bölüm - Patlayıcı Madde Depolarının Teknik Özellikleri (Madde 98- 102)
- Beşinci Bölüm - Depolamayla İlgili Güvenlik Önlemleri (Madde 103-112 arası)

Tüzük'de Madde 82-112 arasında verilen 7. Kısım 5 alt bölümde ele alınmıştır. 7. Kısımın Dördüncü Bölümü Patlayıcı Madde Depolarının Teknik Özelikleri verilmiştir. Bu bölümde patlayıcı madde depoları sürekli, geçici ve gezici olarak gruba ayrılmıştır. Sürekli patlayıcı depoları ise yerüstü ve yeraltı depoları olarak gruplandırılmıştır. Tüzük'de verilen ifadelerle depo grupları, alt gruplar Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Patlayıcı madde depo grupları

Şekil 1'de görüldüğü gibi yeraltı patlayıcı depoları sürekli depolama kapasitesi için yapılmaktadır. Yeraltı patlayıcı madde depolarının teknik özellikleri ve boyutlandırılması Tüzük'ün Madde 99 B Bendinde şu şekilde tanımlanmıştır.

B- Yeraltı depoları: Yeraltı (galeri tipi) depoları, maden işletmelerinde yer altında ve ocak içinde yapılabileceği gibi, bir yamaçta açılacak galeriyle girilmek suretiyle de yapılabilir.

Ek:6'daki esaslara uygun olarak yapılan yeraltı depolarının çıkış ağzına gerektiğinde Ek:5'e göre sütre yapılır. Su girmemesi ve nem oluşmaması için gerekli önlemler alınır. Depo içi sıcaklığının 25 dereceyi geçmesini önleyecek havalandırma düzeni yapılır ve patlama etkisini azaltmak amacıyla uygun yerlere oyuk ve boşluklar açılır.

Tüzük'ün Madde 99 B bendinde atıf yapılan Ek:6'da Yeraltı Galeri Tipi patlayıcı madde deposunun tipleri boyutları tanımlanmıştır.

2.2. Yeraltı Galeri Tipi Depoların Özellikleri

A) Yeraltı galeri tipi depolar için toprak kalınlığına ilişkin formüller Tüzük kapsamına giren patlayıcı maddeler için geçerli olmak üzere Ek:6'da olduğu gibi

aşağıda gösterilmiştir:

1- Yeraltı galeri tipi depolarında bir depo hücresi ile komşu diğer bir depo hücresi arasındaki toprak kalınlığı: **$10{,}75\ k = g.\ x^{3}$**

(x) = Hücre ile komşu depo arasındaki metre cinsinden uzaklık

2 - Patlayıcı madde ambalajlarının istifleme kurallarına uyulmak koşuluyla **toplu olarak depolanması** halinde depo üstünde bulunması gereken toprak kalınlığı: **$8.\ k = g.\ (y+1)^{3}$**

(y) = Depo üstünde bulunması gereken metre cinsinden toprak kalınlığı

3 - Patlayıcı madde ambalajlarının, istifleme kurallarına uyulmak koşuluyla bir depoya **(hücreye) boylamasına sıralanması** halinde, depo üstünde bulunması gereken toprak kalınlığı: **$8.\ k = g.\ (\frac{3}{2}\ z+1)^{3}$**

(z) = Depo üstünde bulunması gereken metre cinsinden toprak kalınlığı

4 – Bir gömme depoda sandıkların konulacağı galerinin uzunluğu: **$L = 3y$**

(L) = Galerinin metre cinsinden uzunluğu.

(y) = ikinci formülle elde edilen toprak kalınlığı değeri

Formüllerdeki: **k,** depoya konulacak patlayıcı maddenin kilogram cinsinden miktarını, **g,** arazinin cinsine göre kullanılacak katsayıyı ifade etmektedir.

Çizelge 1. Arazinin cinsine göre g katsayısı

Hafif toprak için	g = 1,25
Adi toprak için	g = 1,50
Kuvvetli kum için	g = 1,75
Taşla karışık toprak için	g = 2,00
Fazla killi toprak için	g = 2,25
Kaya için	g = 3,00
Depo inşaatının beton olması halinde	g = 2,50
Depo inşaatının betonarme olması halinde	g = 3,00

Çizelge 2. Muhtelif miktarlar ve (g)'ler için (x, y, z, L) nin hesaplanmış değerleri

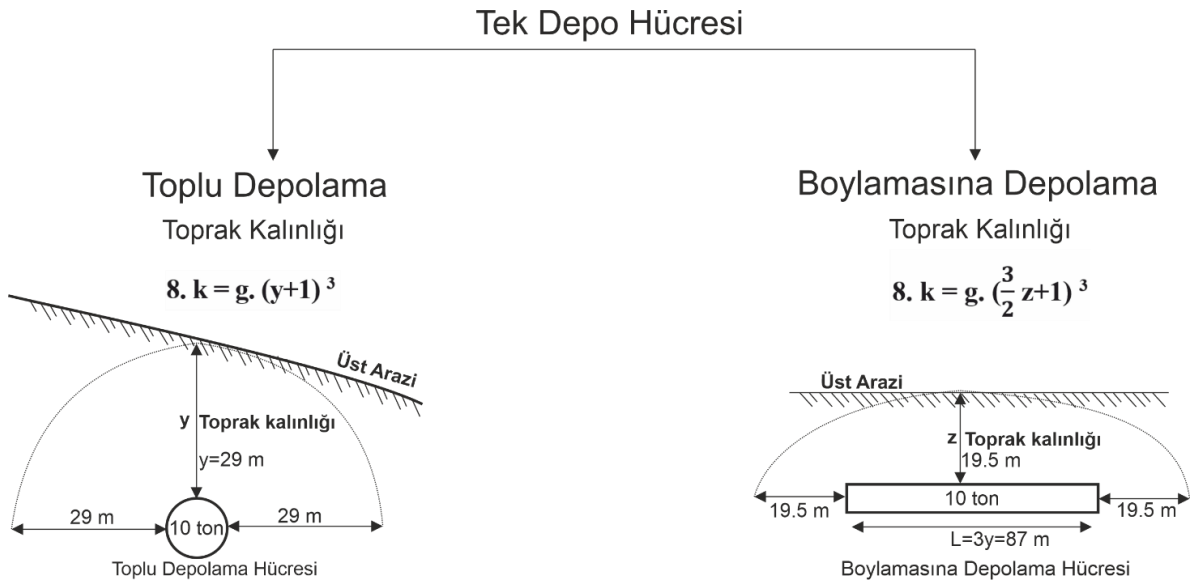
	g	Depoya Konulacak Patlayıcı Madde: k (kg)						
		5000	10000	15000	20000	30000	40000	50000
x	2,25	29	36,5	41,5	46	52,5	58	62
	2,5	28	35	40,5	44,5	50,5	50	60
	3	26,5	33	38	41,5	47,5	52,5	56,5
y	2,25	25,5	32	37	40,5	46,5	51,5	55,5
	2,5	24,5	31	35,5	39	45	49,5	53,5
	3	23	29	33,5	37	42	46,5	50
z	2,25	17	21,5	24,5	27	31	34,5	37
	2,5	16,5	21	24	26	30	33	36
	3	15,5	19,5	22,5	24,5	28,5	31	33,5
L	2,25	75,5	96	110	121,5	139,5	154	166
	2,5	72,5	92,5	106	117	134,5	148,5	160
	3	68,5	87	100	110	126,5	139,5	150,5

B) Bir yeraltı galeri tipi depoda 2 numaralı formüle göre bulunacak toprak kalınlığına ulaşıncaya kadar giriş galerisi açılır. Depo hücresi, giriş galerisi sonunda buna dik olarak 4 numaralı formüle göre bulunacak (L) uzunluğunda galeri açılarak yapılır. Giriş galerisi uzunluğu 3 numaralı formülle bulunacak toprak kalınlığından az (z) olmayacaktır. Depo hücresine 200 kilogramdan çok patlayıcı madde konulacaksa hücre galerisi karşısına 3 metre uzunlukta patlamaya karşı bir galeri açılır.

C) Yeraltı galeri tipi deponun giriş ağzına 2 metre uzaklıkta 3 metre uzunluğunda hücre biçiminde bir siper yapılacaktır. Bu siperin etrafı, yüksekliği ve genişliği depo giriş ağzı alanının iki katı olarak toprakla örtülür.

D) Yeraltı galeri tipi depolar genel ulaşım yollarından en az 20 metre, oturulan binalarla içinde çalışılan tesis ve fabrikalardan en az 50 metre uzaklıkta olacaktır.

Formüller galeri tipi yeraltı depolarında patlayıcı miktarına göre depo hücresi üzerinde bulunması gereken en az toprak kalınlığının belirlenmesi için yaklaşım olarak verilmiştir. Şekilsel olarak 10 ton patlayıcı için toprak kalınlığı mesafeleri Şekil 2'de izah edilmiştir.



Şekil 2. Ek:6'da verilen toprak kalınlığı yaklaşımları (kesit görünüş)

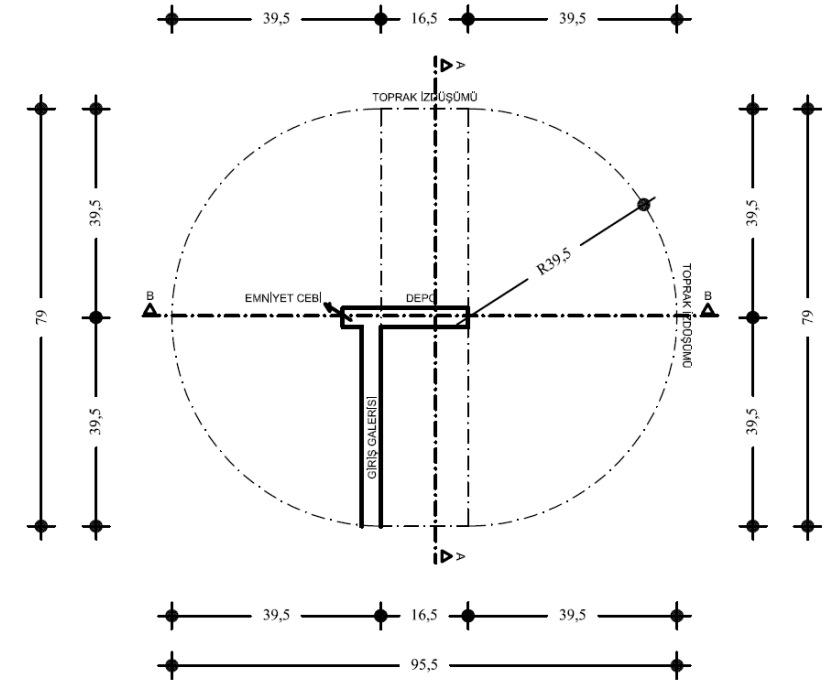
3. BULGULAR VE TARTIŞMA

3.1. İlgili Tüzük'de Toplu Deplama Ve Boylamasına Depolama Hücresi Arasindaki Farklar ve Belirsizlikler

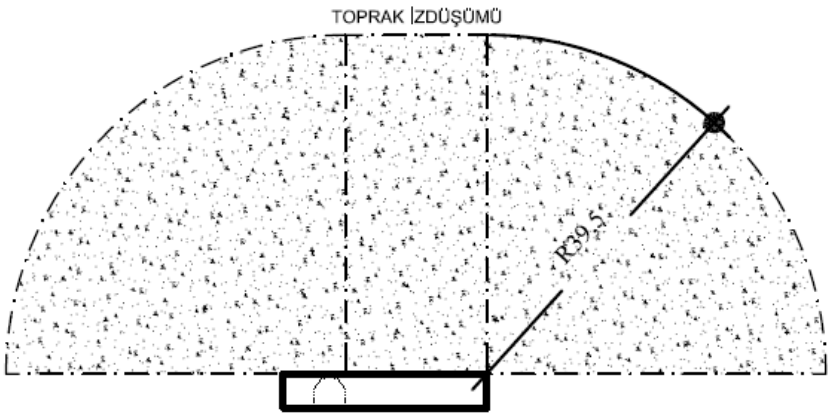
Örnekten anlaşılacağı gibi 10 ton (10 000 kg) kapasiteli bir yeraltı deposunun toplu depolama tipinde depo hücresi üzeri toprak kalınlığı 29 m, boylamasına depolama tipinde depo hücresi üzeri toprak kalınlığı 19,5 m olmalıdır. Aynı kapasiteli bir depo hücresinin iki farklı şartı sağlaması mümkün değildir. Esasen boylamasına depolama toprak kalınlığı "z", toplu depolama toprak kalınlığı "y" nin 2/3 katıdır. Yani z = 0.66 y'dir.

DoMIRS Western Australia (2018), U.K. DoD (2013), U.S.A. DoD (2015), Galeri Tipi Yeraltı Patlayıcı Madde depolarıyla ilgili Avrupa ve diğer ülkelerdeki yönetmeliklerde benzer şekilde düzenlenmiştir. Toprak kalınlığının toplu depolama ile boylamasına depolama arasında 1/3 oranında fark olmasının nedeni patlayıcı enerjisinin yayılmasıyla depolama kapasitesinin arttırılması yaklaşımıdır. Açıklamak gerekirse toplu depolama yapılması planlanan depo hücrelerinde kapasite arttıkça toprak kalınlığının (üst örtü tabakası) artması gerekmektedir. Örneğin 50 ton kapasiteli bir toplu depolama hücresi için gerekli toprak kalınlığı 50 m'dir. 50 m toprak kalınlığının sağlanması için dağ, yamaç

eğimli arazi içerisinde giriş galerisinin uzun olması gerekmektedir. Diğer taraftan çoğu zaman arazi yapısı düşük eğimlerde 50 m toprak kalınlığının oluşmasına imkan vermemektedir. Bu durumda toplu depolama şartındaki toprak kalınlığının 1/3 oranında az kalınlıkta giriş galerisine dik yönde toprak kalınlığının en az üç katı uzunluğunda galeri sürülerek patlayıcının bu galeri içerisinde depolanması şartıyla azaltılması çözüm olarak sunulmuştur.

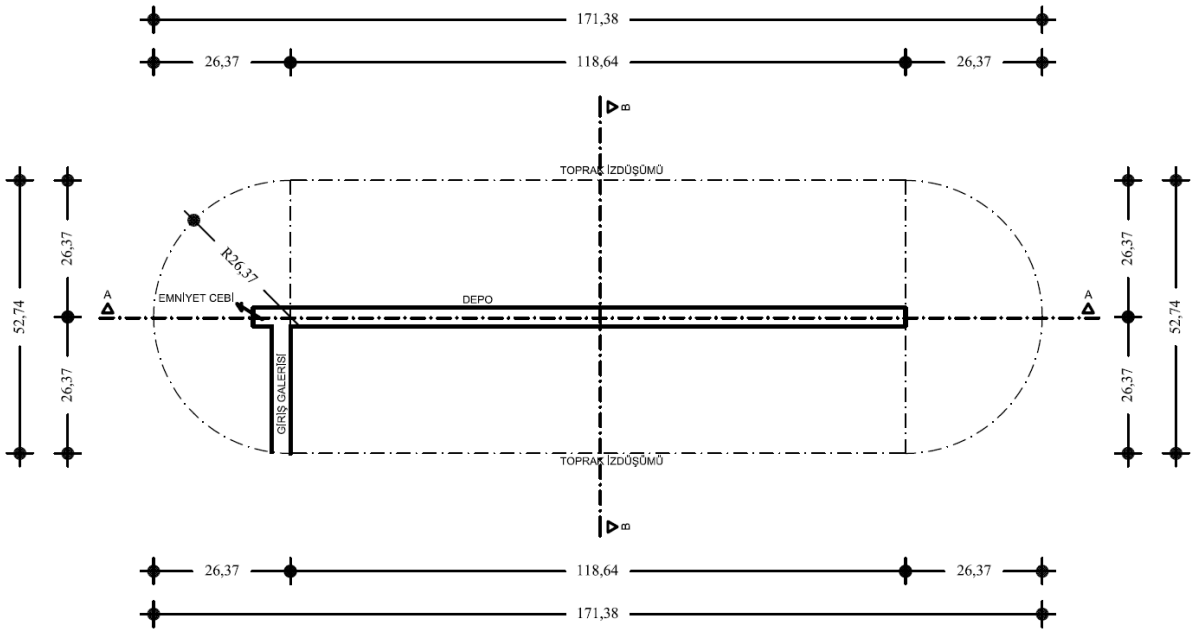


a

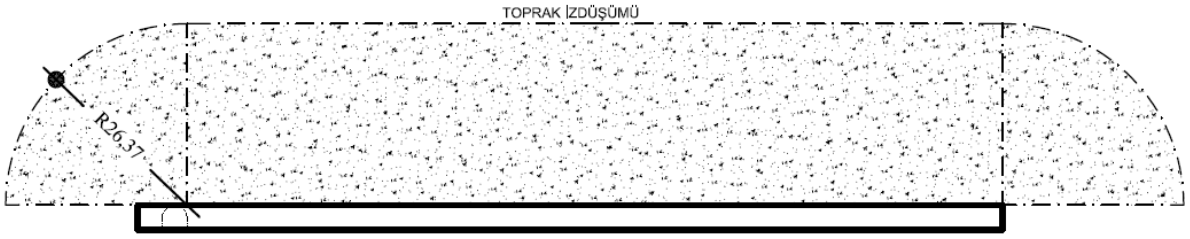


b

Şekil 3. 25 ton patlayıcı kapasiteli bir yeraltı galeri tipi deposunun (toplu depolama) a) üst görünüş b) kesit görüntüsü. Galeri üzerindeki toplam toprak miktarı: 169.516 m^3



a



b

Şekil 4. 25 ton patlayıcı kapasiteli bir yeraltı galeri tipi deposunun (boylamasına depolama) a) üst görünüş b) kesit görüntüsü. Galeri üzerindeki toplam toprak miktarı: 167.994 m^3

Şekil 3 ve 4'de görülebileceği gibi, 25 ton kapasiteli bir yeraltı galeri tipi deposuna ait gerekli toprak kalınlığı ve toplam toprak miktarı sırasıyla toplu depolama olması durumunda 39,5m ve 169.516 m^3 boylamasına depolama olması durumunda ise 26,37m ve 167.994 m^3 olmaktadır.

İlgili Tüzük'e ait Ek:6'nın A bendinin dördüncü formülü tanımlanırken L=3y formülünde L uzunluğu için "bir gömme depoda sandıkların konulacağı galerinin uzunluğu" tanımı yapılmıştır.

Ayrıca ilgili Tüzük'e ait Ek:6'nın B bendinde de "…depo hücresi, giriş galerisi sonunda buna dik olarak 4 numaralı formüle göre bulunacak (L) uzunluğunda galeri açılarak yapılır." ibaresi mevcuttur. Kullanılan bu ifadelerden dolayı ilgili kısımda belirsizlikler ortaya çıkmaktadır.

Birincisi iki ifade için herhangi bir depolama türü söylenmemiş olup, tüzük okunduğunda her iki depolama türü için de L uzunluğundaki galerinin açılması gerektiği anlamı çıkmaktadır.

İkincisi eğer bu L uzunluğundaki galeri her iki depolama türü için de açılacaksa o zaman neden depolama türleri ikiye ayrılmıştır. Nihayetinde amaç, ekonomik, çevresel, tüzel vb. koşulların sağlanamadığı durumlarda iki depolama türünden uygun olanı seçmektir. Bu ifadeler bu duruma zıtlık oluşturmakta ve böylece bir belirsizlik durumu ortaya çıkmaktadır.

4. SONUÇLAR

1- Türkiye'de yeraltı galeri tipi patlayıcı depolarının 87/12028 Karar Sayılı Tekel Dışı Bırakılan Patlayıcı Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul Ve Esaslarına İlişkin Tüzüğü'n 4. Bölüm Patlayıcı Madde Depolarının Teknik Özellikleri, B- Yeraltı Depoları kısmında atıf yapılan EK-6 A Maddesi'nde tanımlanan Galeri Tipi Yeraltı Patlayıcı Depolarının boyutlandırılmasıyla ilgili toplu depolama ve boylamasına depolama yaklaşımların açıklanması yapılmıştır.

2- İlgili Tüzük'de toplu depolama ve boylamasına depolama türü toprak kalınlığı bakımından karşılaştırıldığında toplu depolama için gerekli toprak kalınlığı daha fazla olup aralarında 1/3 oranında bir fark bulunmaktadır (y=2/3.z).

3- İki tür yeraltı galeri tipi patlayıcı deposunun olma amacı, ekonomik, çevresel, tüzel vb. koşulların sağlanamadığı durumlarda iki depolama türünden uygun olanı seçmek olması. İşletmelere ek seçenek olması açısından kolaylık sunmasıdır.

4- İlgili Tüzük'e ait Ek:6'nın A bendinin dördüncü formülü tanımlanırken L=3y formülünde L uzunluğu için "bir gömme depoda sandıkların konulacağı galerinin uzunluğu" tanımı yapılmıştır. Ayrıca ilgili Tüzük'e ait Ek:6'nın B bendinde de "…depo hücresi, giriş galerisi sonunda buna dik olarak 4 numaralı formüle göre bulunacak (L) uzunluğunda galeri açılarak yapılır." ibaresi mevcuttur. Kullanılan bu ifadelerden dolayı ilgili kısımda belirsizlikler ortaya çıkmaktadır.

5- İlgili Tüzük yeniden gözden geçirilmeli ve anlam karmaşası veya belirsizlik içeren tanım ve durumlar ortadan kaldırılmalıdır.

KAYNAKLAR

Department of Mines, Industry Regulation and Safety, (2018). Dangerous goods safety guidance note, Storage of explosives. Government of Western Australia. https://www.dmp.wa.gov.au/Documents/Dangerous-Goods/DGS_GN_StorageOfExplosives.pdf Erişim tarihi: 18.04.2025

Resmi Gazete, (1987). 87/12028 Karar Sayılı Tekel Dışı Bırakılan Patlayıcı Maddelerle Av Malzemesi ve Benzerlerinin Üretimi, İthali, Taşınması, Saklanması, Depolanması, Satışı, Kullanılması, Yok Edilmesi, Denetlenmesi Usul Ve Esaslarına İlişkin Tüzük. https://www.mevzuat.gov.tr/MevzuatMetin/2.5.8712028.pdf Erişim tarihi: 18.04.2025

U.K. Department of Defence, (2013). Storage and handling of explosives, https://assets.publishing.service.gov.uk/media/5a7b15dee5274a34770e9539/C13_Edt4_FINAL.pdf Erişim tarihi: 18.04.2025

U.S.A. Department of Defence, (2015). Ammunition and explosives storage magazines. https://www.atf.gov/explosives/tools-services-explosives-industry/explosives-storage-requirements/explosives-storage-magazine-types Erişim tarihi: 18.04.2025

YERALTI MADENCİLİĞİNDE PERSONEL TAKİP SİSTEMLERİ ÜZERİNE YAPILMIŞ ÇALIŞMALAR

STUDIES ON PERSONNEL TRACKING SYSTEMS IN UNDERGROUND MINING

Tuğba Doğan
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi Endüstri Mühendisliği Bölümü, Sivas

Zekeriya Duran
Sivas Cumhuriyet Üniversitesi STMYO, Sivas

Mehmet Genç
Malatya Turgut Özal Üniversitesi Hekimham MES MYO, Malatya

ÖZ: Bu çalışma, yeraltı madenciliğinde personel takip sistemleri üzerine yapılan araştırmaları ele almaktadır. Madencilik sektörü, yüksek riskli çalışma koşulları nedeniyle gelişmiş konumlandırma ve takip sistemlerine ihtiyaç duymaktadır. Özellikle, RFID teknolojisi, iş sağlığı ve güvenliği açısından kritik bir rol oynamaktadır. Uluslararası ve Türkiye'deki iş güvenliği mevzuatları gereği, personel takip sistemlerinin kurulması ve işletilmesi zorunlu olmuştur. İç mekân konumlandırma teknolojileri; RFID, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, Ultra Geniş Bant (UWB) gibi çeşitli konumlandırma yöntemleri madencilik sektöründe kullanılmaktadır. Bu teknolojiler sayesinde çalışanların ve ekipmanların anlık takibi sağlanabilmektedir. Bu çalışma yeraltı madenciliğinde personel takip sistemlerinin gelişimini, mevcut teknolojileri ve gelecek vaat eden yenilikleri inceleyerek, güvenli ve verimli madencilik operasyonlarına katkı sağlamayı hedeflemektedir.

Anahtar Kelimeler: Personel takip Sistemleri, Yeraltı, RFID.

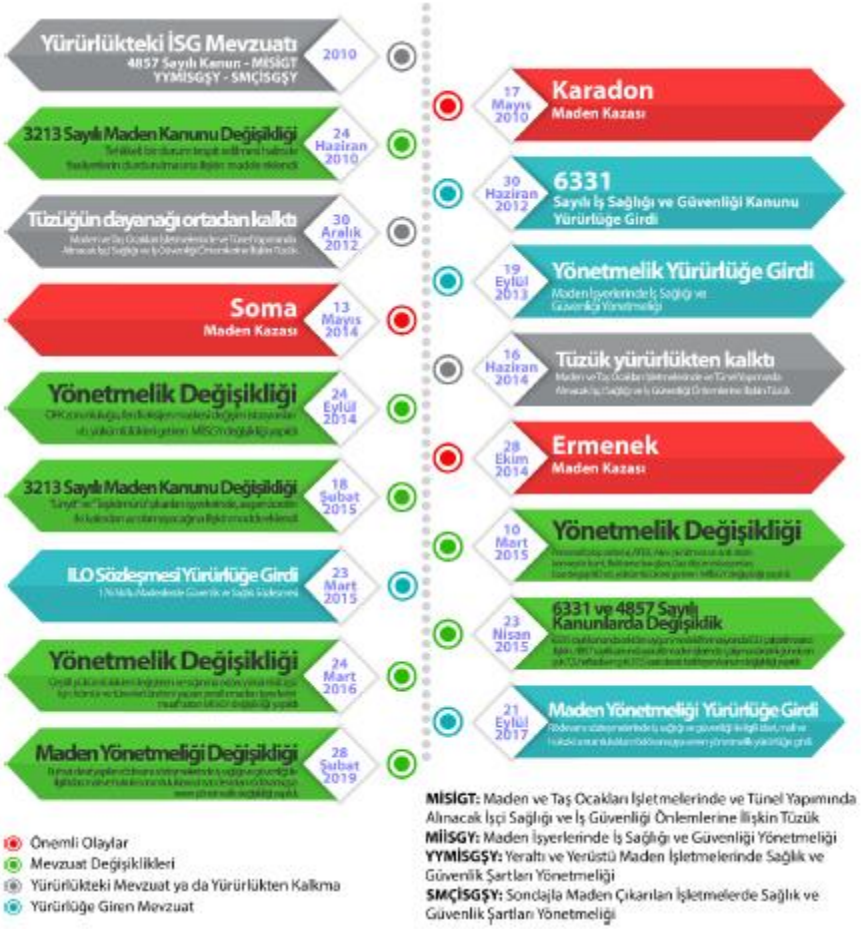
ABSTRACT: *This paper reviews research on personnel tracking systems in underground mining. The mining industry requires advanced positioning and tracking systems due to high-risk working conditions. In particular, RFID technology plays a critical role in occupational health and safety. In accordance with international and Turkish occupational safety legislation, it has become mandatory to install and operate personnel tracking systems. Indoor positioning technologies; RFID, Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, Ultra Wide Band (UWB) and other positioning methods are used in the mining industry. Thanks to these technologies, instant tracking of employees and equipment can be provided. This study aims to contribute to safe and efficient mining operations by examining the development*

of personnel tracking systems in underground mining, existing technologies and promising innovations.

Keywords: *Personnel Tracking Systems, Underground, RFID.*

1. GİRİŞ

Madencilik doğası gereği insan ağırlıklı ve çok tehlikeli sınıfta yer alan işkollarındandır. Ülkemizde iş kazası istatistiklerinde madencilik faaliyetleri ikinci sırada yer almakta, ancak iş kazası sonucu ölümle sonuçlanan vakalarda ilk sırada bulunmaktadır. Uluslararası Çalışma Örgütü, Dünya Sağlık Örgütü, Uluslararası Atom Enerjisi Ajansı ve diğer ilgili kurumlar arasında yapılan iş birliği ile maden işyerlerinde güvenlik ve sağlık ile ilgili uluslararası sözleşme 22 Haziran 1995 tarihinde yayınlanmıştır.Maden İşyerlerinde Güvenlik ve Sağlık Sözleşmesi 5 Haziran 1998 tarihinden bu yana yürürlükte olup, ülkemiz iş sağlığı ve güvenliği mevzuatı ile temel olarak aynı olmasına rağmen bazı konularda farklılıklar mevcuttur. Maden İşyerlerinde Güvenlik ve Sağlık Sözleşmesi, 04.12.2014 kabul edilmiş olup 12.12.2014 tarihinde yürürlüğe girmiştir. Böylelikle söz konusu farklılıkların hepsi uyumlu hale getirilmiştir. Maden İşyerlerinde İş Sağlığı ve Güvenliği Yönetmeliğinde 10.03.2015 tarihinde yapılan bir diğer değişiklik ile personel takip sistemi, ATEX, alev yürütmez ve anti statik konveyör bant, bekleme barajları, kurtarma istasyonu kontrolleri, acil durum planı ve tatbikatların güncellenmesi, üç boyutlu yeraltı planı, insan nakil yolunun azami eğimi, gaz ölçüm istasyonları, seyyar gaz ölçüm cihazları, hava yönünün değiştirilebilecek nitelikte olması, gaz degajı riskinin değerlendirilmesi, kömürün hava ile temasının engellenmesi, hayat hattı vb. yükümlülükler getirilmiştir (TMMO, 2021) (Şekil1).



Şekil 1. Türkiye'de 2010-2020 yılları arasındaki önemli olaylar ve mevzuat değişikliklerini gösteren bilgi görseli(TMMO, 2021).

Karmaşık jeolojik koşullar ve zorlu üretim ortamı, madencilerin güvenliğini büyük ölçüde tehdit etmektedir. Bu nedenle kazaları önlemek için güvenlik yönetimi yöntemleri benimsenmelidir; örneğin, güvenlik personeli düzenli olarak tehlikeli gazları tespit etmek için denetimler gerçekleştirmeli, makineleri, ekipmanları ve havalandırma sistemlerini kontrol etmeli ve madencilerin güvenlik davranışlarını gözden geçirmelidir. Son yıllarda, çeşitli güvenlik yönetimi yöntemleri ve iyileştirme teknolojileri geliştikçe madencilik alanında iş güvenliği sürekli olarak iyileşmiştir. Yeraltı madenlerindeki karmaşık tünel ağı, güvenlik denetim rotalarının verimliliğini sınırlandırır; bu nedenle, bu rotaların planlanması kritik öneme sahiptir.

2. İÇ MEKÂN KONUMLANDIRMA SİSTEMLERİ

Madencilerin izlenmesi, maden kurtarma ekiplerinin bir felaket durumunda arama alanını kolayca daraltmasına olanak tanımaktadır. İç mekân konumlandırma, GPS gibi uydu tabanlı sistemlerin yetersiz kaldığı kapalı alanlarda konum belirleme ve takip yapmaya olanak tanımaktadır.

Bu sistemler, farklı teknolojiler kullanarak çalışır:

- RFID (Radyo Frekansı ile Tanımlama): RFID teknolojisi, yeraltı madenciliğinde güvenlik ve verimlilik açısından önemli avantajlar sunmaktadır. Bu teknoloji, madende hareket eden her şeyi izleme imkanı sağlayarak kapsamlı bir güvenlik sistemine entegre edilebilir. RFID, çalışanların kimliklerini, görevlerini ve bulundukları konumları belirlemeye olanak tanırken, aynı zamanda yeraltı ekipmanlarının takibini yaparak üretkenliği ve güvenliği artırır. RFID etiketleri, okuyucular aracılığıyla radyo dalgalarıyla veri ileterek fiziksel temas gerektirmeden bilgi aktarımı yapar. En yaygın maden takip sistemleri RFID teknolojisini kullanır. RFID'nin bir etiket ve bir okuyucu olmak üzere iki bileşeni vardır. Etiketler ve okuyucular aracılığıyla konum belirleme sağlar. Bir etiket aktif, pasif ya da yarı pasif olabilir (Li Bai-ping, 2008). Aktif etiketler sinyale güç sağlamak için bir pil içerirken, pasif etiketler benzersiz kimliğini iletmek için radyo dalgalarından güç alır, yarı pasif etiketler bu teknolojilerin bir kombinasyonunu kullanır. Kömür madenlerinde yaygın olarak kullanılan tek tür aktif etiketlerdir. Geleneksel kullanımda, etiket okuyucular maden boyunca stratejik yerlere asılır ve dışarıdaki elektronik bir haritaya kaydedilir. Bir etiket okuyucunun menziline girdiğinde, okuyucu, sızdıran besleyici veya kablosuz düğüm olmak üzere mevcut olan her türlü altyapıyı kullanarak etiketin kimliğini madenin dışına yayınlar. RFID izleme performansının anahtarı, okuyucuların konumu, okuyucu kimlikleri ve etiket sahipleri de dahil olmak üzere güncel kayıtların

tutulmasıdır. Bu alanlardan herhangi birindeki yanlışlıklar sistemi işe yaramaz hale getirebilir.

- UWB (Ultra Geniş Bant): Yüksek hassasiyetli konumlandırma sunar.
- Wi-Fi ve Bluetooth: Mevcut ağ altyapısını kullanarak konum belirleme yapar.
- Haritalama ve Görselleştirme Sistemleri: ArcGIS Indoors gibi çözümler, iç mekan haritaları oluşturup yön bulmayı kolaylaştırır.
- Alternatif bir RFID izleme yöntemi olan ters RFID: 2007 yılında NIOSH sözleşmesinin bir parçası olarak L-3 tarafından geliştirilmiştir. Ters RFID sistemlerinde okuyucular madencilerin yanlarında taşıdıkları taşınabilir birimlerdir ve etiketler sabit konumlara yerleştirilir. Okuyucu hesaplanan konumu madencinin telsizi aracılığıyla iletir. Bu yöntem, nispeten pahalı okuyuculara kıyasla çok daha fazla sayıda ucuz etiket asılabildiği için doğru takibe olanak tanır. Etiketler her bir çapraz kesime asılır ve takılması ortalama 3 dakika sürer. Sistem yalnızca madenci iletişim sisteminin menzilindeyse izleme konumunu güncelleyebilir. Sızdıran besleme hatları madencinin çalıştığı girişte olmadığında bu durum sorun yaratmaktadır (Milestones in Mining Safety and Health Technology, 2011).
- Alınan Sinyal Gücü Tanımlayıcısı (RSSI): Daha az kullanılan, ancak oldukça etkili bir izleme yöntemi de Alınan Sinyal Gücü Tanımlayıcısıdır. Bu yöntemde bir etiket sinyalini en az iki alıcıya gönderir. Alıcılar etiketin sinyal gücünü belirleyebilir ve alınan sinyal gücü ile okuyucular arasındaki mesafenin bir oranını kullanabilir. Bu yöntemle sistemin çözünürlüğü birkaç yüz metre yerine birkaç metre olabilmektedir. Bu yöntem doğruluğu önemli ölçüde artırsa da, etiketi görebilmek için iki okuyucuya ihtiyaç duyulması bir dezavantajdır.

Bu teknolojiler, özellikle görme engelli bireylerin yönlendirilmesi, güvenlik uygulamaları ve iş akışı verimliliğini artırmak için kullanılır.

İç mekan konumlandırma, çalışan takibi, makine takibi, kaynak takibi ve acil durum müdahale planlaması dahil olmak üzere çeşitli uygulamalar ve ilgili hizmetler sağladığı için son yıllarda popülerlik kazanmıştır. Akıllı ofisler ve akıllı evler gibi yenilikçi alanlar son zamanlarda teknolojik gelişmelerle birlikte kullanılırken aynı zamanda madencilik faaliyetlerinde de bu teknolojinin kullanılması iş sağlığı ve güvenliği açısından önem taşımaktadır.

Yeraltı madenciliğinin işletme ve yatırım maliyetleri yüksek olduğu için böyle bir çözümün uygulanması da uygulanabilir olmalıdır. Standart Küresel Konumlandırma Sistemi (GPS), konum belirleme ve lokalizasyon için en yaygın kullanılan yöntem olmasına rağmen, farklı teknolojilere ve algoritmalara dayalı yeni bir altyapı gerektirdiğinden bu tür kapalı ortamlar için yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, kapalı ortamlar için nesne konumlandırma GPS ile gerçekleştirilemez. Bunun yerine, Kızılötesi (IR), Radyo Frekansı Tanımlama RFID, Wi-Fi, Bluetooth, Ultrason ve Görünür Işık tabanlı gerçek zamanlı iç mekan konum belirleme sistemleri ve hibrit bir algoritma geliştirilmiştir (Cavur ve Demir, 2022; Ferreira Centeno vd., 2018).

Yeraltı maden işçilerinin kesin ve gerçek zamanlı konumlarının bilinmesi, herhangi bir acil durumda sağlık ve güvenlikleri için çok önemlidir. İç mekan konumlandırma, özellikle de RFID tabanlı sistemler, bir yeraltı madenindeki her çalışanı ve makineyi gerçek zamanlı olarak izleyerek bu amacın yerine getirilmesine yardımcı olabilir. Bu sayede karar vericiler;

(i) madencilik faaliyetlerini eş zamanlı olarak izleyebilecek,

(ii) her türlü iş riskini en aza indirebilecek,

(iii) bir kaza durumunda insanların hayatını kurtarmak için hızlı kararlar alabilecek,

(iv) gaz algılama ve basınç algılama gibi diğer izlem e sistemlerini yer altı madenlerine entegre edebileceklerdir. Maden işçilerinin ve makinelerinin izlenmesi yeraltı madenlerinde işletme maliyetlerini de düşürecektir, zira etkin kullanımı yerüstü madenlerinde bu tür maliyetleri azaltabilir.

Ayrıca, madencilik makine ve ekipmanlarını uzaktan çalıştırmak için bazı otomasyon sistemleriyle birleştirilebilir, bu da üretimin yanı sıra iş sağlığı ve güvenliği açısından da önemli avantajlar sağlayacaktır.

İzleme teknolojileri genel olarak (1) Wi-Fi, Bluetooth, ultra geniş bant (UWB), ZigBee, radyo frekansı tanımlama, ultrason, manyetik alanlar ve ışık yayan diyotlar (LED) gibi sensör tabanlı teknolojiler; (2) Artırılmış Gerçekliğin (AR) doğal işaretleyicileri ile veya bunlar olmadan bilgisayar görüşü tabanlı işaretleyici izleme ve (3) RFID ve ışık yayan diyotlar gibi farklı yöntemleri birleştiren hibrit izleme teknolojileri olarak sınıflandırılabilir (García-Catalá vd., 2022). Video görüntüleri, kızılötesi ışınlar, basınç sensörleri, kablosuz sensörler, UWB radar ve Kablosuz Yerel Alan Ağı (WLAN) en yaygın iç mekan konumlandırma teknolojileridir (Zhou vd., 2020; Aktaş vd., 2018; Cheng vd., 2014; Gao, 2016). Görsel bilgi en hassas konumlandırma çözümlerini sağlar, ancak büyük miktarda verinin yakalanmasını, taşınmasını ve işlenmesini gerektirir. Video görüntüsü tabanlı konumlandırma yaklaşımı sıklıkla hedefe duyarlı bilgilerin açığa çıkmasına neden olur. Bu yaklaşım ayrıca düşük ışık altında iyi çalışmamaktadır (Danış vd., 2021). Ultrason tabanlı konumlandırma sistemleri doğru lokalizasyon sağlamak için ucuzdur. Sesin uçuş zamanı (Time-of-Flight, ToF), mobil bir alıcı ile sabit vericiler arasındaki mesafeleri ölçmek için kullanılır (Medina vd., 2013). Ultra geniş bant, yüksek veri hızları ile iç mekan konumlandırma için kullanılan yeni teknolojilerden biridir. Yakın alan veri iletimi için iyi bir çözüm haline gelmiştir çalışmamaktadır (Danış vd., 2021). Düşük enerji tüketimleri, mükemmel erişilebilirlikleri, küçük boyutları ve standart pilleri nedeniyle **Bluetooth Düşük Enerji (BLE)** vericileri her geçen gün daha yaygın hale gelmektedir. Bu vericiler, BLE özellikli herhangi bir cihaz tarafından okunurken modern el cihazlarıyla kolayca iletişim kurabilir (Kriz vd.,2016). Akıllı telefonların yaygınlaşmasıyla birlikte görme, ataletsel navigasyon ve **radyo frekansı (RF)** tabanlı veri işleme çözümleri hibrit sistemlerde bir arada bulunmaktadır (Simoes vd., 2020). Bununla birlikte, saf RF tabanlı sistemler,

daha düşük güç çekimi ve işlem gereksinimlerine sahip olduğu için yukarıdaki çözümlere göre tercih edilir. Kullanımı kolay ve yerel ağlara erişim için önceden var olan altyapısı nedeniyle Wi-Fi teknolojisi, iç mekan lokalizasyonu için kullanılan en eski RF teknolojilerinden biridir. Konum tahminlerinden önce kullanılan sinyal özellikleri ve ön işleme teknikleri, esas olarak bu milenyumun ilk on yılında yapılan Wi-Fi altyapısı deneylerine dayanmaktadır (Gezici, 2008).

Madencilik sektörü için gerçek zamanlı konumlandırma sistemlerindeki (RTLS) yeni ilerlemelerle, Yeraltı madeni ortamında gerçek zamanlı personel ve varlık izleme sistemi için bir platform olarak Kablosuz-Fidelite (Wi-Fi) altyapısının üzerine Radyo Frekansı Tanımlama (RFID) kullanımını destekleyen güvenilir sağlayıcılar tarafından mümkün kılınmış ve Freeport-McMoRan organizasyonu için küresel kablosuz teknoloji standartlarıyla uyumlu hale getirilmiştir.

Uygulama planı önerisi için metodoloji olarak Freeport-McMoRan proje yönetim süreç iş akışı kullanılmaktadır. Konsepti kanıtlamak, proje paydaşlarının güvenini kazanmak ve genel proje riskini en aza indirmek amacıyla, aşamalı bir uygulama yaklaşımının yüksek maliyetli projeler için en iyi dağıtım stratejisi olduğu kabul edilmektedir.

3. YERALTI MADENLERİNDE PERSONEL TAKİP SİSTEMLERİ ÜZERİNE YAPILAN ÇALIŞMALAR

Karaca'nın 2010 yılında yaptığı tez çalışmasında RFID (Radio Frequency Identification-Radyo Frekansla Kimlik Tanımlama) anlamına gelen, son yılların en popüler ve gelişime müsait olan otomatik tanımlama sistemi üzerine bir sistem geliştirmeyi amaçlamıştır. RFID sistemi, okuyucu ve elektronik etiket olmak üzere iki temel bileşenden oluşmaktadır. RFID'yi mevcut teknolojilerden ayıran en önemli özellik ise temassız çalışmasıdır. Bu tez kapsamında RFID teknolojisi incelenmiş ve örnek bir uygulama olarak "Anlık Personel Takip Sistemi" geliştirilmiştir. Bu sistemle personelin giriş-çıkış saatlerinin ve anlık konum

bilgilerinin takibi yapılarak, gizliliğin ve güvenliğin önemli olduğu noktalarda izinsiz girişlerin denetlenmesi ve izlenmesi sağlanarak güvenliğin arttırılması, günlük personel mevcut listesi alınarak kuruluşların personel takibinin yapılması hedeflemiştir. Kaygısız (2012) RFID teknolojisine farklı bir deneme yaptığı çalışmasında; 3G haberleşme teknolojisi kullanılarak verilerin kablosuz olarak iletilmesi sağlanmayı amaçlamıştır. Kurulmuş olan sistemin kontrolü internet bağlantısı sağlanabilen her ortamdan kablosuz olarak gerçekleştirilebilmiştir. Gezici personelin gitmesi gereken yerlere ulaşma ve ayrılma zamanlarında internet erişimi olan her yer için sınırsız bir takip alanı oluşmaktadır. Bakır (2019) ise RFID ile gelişmiş personel takip sisteminde, ESP8266 donanımı kullanılarak web tabanlı uygulama geliştirmiştir. En önemli özelliği cross-platform olarak çalışması ve işletim sistemi ayırt etmeksizin görevlerini yerine getirebilmesidir. Mevcut personel takip sistemlerinden farklı olarak personel performans değerlendirilmesi ve uzaktan erişime açık olması bu sistemi diğer sistemlerden daha kullanılabilir kılmaktadır. Web tabanlı olmasından kaynaklı oluşacak optimizasyon sorunlarını çözebilmek adına bootstrap kullanmıştır.

Şalap (2008), yeraltı madenciliğinde güvenliği artırmak ve veri yönetimini optimize etmek amacıyla geliştirilen **Coğrafi Bilgi Sistemi (GIS)** tabanlı DBMS ile entegrasyonu üzerine bir uygulamayı ele almıştır. Vaka çalışması alanı olarak Türkiye'deki Garp Linyit İşletmesi seçilmiştir. Çalışmada, madencilik faaliyetlerini daha etkin yönetebilmek için çeşitli modüller geliştirmiş ve navigasyon araçları, harita üzerinden kolay erişim sağlayarak kullanıcılara veri görselleştirme imkanı sunmuştur. Galeri bulma aracı, belirli bölgelerin sorgulanmasına ve detaylı analiz yapılmasına olanak tanırken, bilgi aracı harita üzerindeki nesnelere ait verileri sunucudan çekerek tablo halinde sunmaktadır. SQL tabanlı sorgu aracı ise büyük veri kümelerinin işlenmesini ve analiz edilmesini destekleyerek karar alma süreçlerini güçlendirmektedir. Güvenlik açısından, acil çıkış analizleri Dijkstra algoritmasına dayalı olarak geliştirilmiş olup, en kısa tahliye rotasını hesaplayarak madencilerin güvenli çıkışını sağlamak

üzere tasarlanmıştır. Acil müdahale sürelerinin azaltılması, kazaların etkisini en aza indirmek açısından kritik bir faktördür. Ayrıca, yıllık hava hızı analizleri ile havalandırma koşulları değerlendirilmiş, sistemin toksik gaz ve toz kontaminasyonu analizi gibi ileri düzey uygulamalar için geliştirilebileceği belirtilmiştir. Tematik haritalama, verilerin grafiksel olarak görselleştirilmesini sağlayarak madencilik faaliyetlerinin dağılımını ve yoğunluğunu belirleme konusunda kullanıcıya detaylı tahminler sunmaktadır. Madencilik güvenliği ile ilgili veri yönetiminde, kazalar ve çalışanların bilgilerinin kayıt altına alınması büyük önem taşımaktadır. Çalışmada, güvenlik yönetmeliklerine hızlı erişim sağlayan bağlantılar eklenerek, acil durumlarda ilgili düzenlemelere anında ulaşılmasının mümkün kılındığı belirtilmiştir. Meta veri yönetimi sistemi ise güncellenen ve düzenlenen bilgilerin doğruluğunu koruyarak veri bütünlüğünü sağlamaktadır. Uygulamanın web tabanlı olması, kullanıcı sayısı ve internet erişimi gibi faktörleri göz önünde bulundurmayı gerektirmektedir. Çalışma, belirli bir madencilik operasyonuna yönelik olarak tasarlanmış olup, mühendisler için öncelikli bir kullanım alanı öngörmektedir. Ancak benzer sistemlerin farklı şirketlerde uygulanması durumunda, kullanıcı sayısının artabileceği ve sunucu performans kriterlerinin gözden geçirilmesi gerektiği de ifade edilmiştir (Şalap, 2008).

Er, 2019 yılında Türkiye'deki yeraltı madencilik faaliyetlerinde kullanılan personel takip sistemleri üzerine yaptığı çalışmada, bu sistemlerin önemi, yasal dayanakları ve teknolojik gelişmeleri ele alınmıştır. Madencilik sektörünün dinamik ve sürekli değişen çalışma koşulları nedeniyle önemli riskler barındırdığı belirtilmiş, bu nedenle çalışanların konumlarının yer üstünden takip edilmesinin iş kazalarına müdahale sürecinde kritik bir rol oynadığı vurgulanmıştır. Çalışmada, farklı personel takip teknolojileri değerlendirilmiş; **RFID (Aktif ve Pasif RFID), RSSI (Sinyal Gücü Tabanlı Konumlandırma) ve UWB (Ultra Geniş Bant)** gibi sistemlerin avantajları ve kullanım koşulları ele alınmıştır. Buna göre, RFID sistemlerinin belirli bir kapsama alanı içinde çalışanları takip

edebildiği, RSSI teknolojisinin sinyal gücü ölçümüne dayalı olarak konum belirleme yaptığı ve UWB yönteminin radyo dalgalarının havada kalma süresini analiz ederek yüksek doğrulukta konum tespiti sağladığı ifade edilmiştir. Ayrıca, yeraltı maden ocaklarında ortam kontrolünün önemi vurgulanmış; sıcaklık, gaz, nem, gürültü ve titreşim gibi faktörlerin kesintisiz izlenmesinin iş sağlığı ve güvenliği açısından gerekliliği belirtilmiştir. Ortam kontrol sistemleri sayesinde yeraltı iklimi optimize edilebilir ve iş verimliliği artırılabilir. Çalışmada ayrıca, personel takip sistemlerinin sürdürülebilir olması için çeşitli öneriler sunulmuştur. Acil durumlarda sistemlerin çalışır durumda kalması, alternatif enerji kaynaklarının kullanılması, sesli iletişimin sağlanması ve tüm ocağı kapsayan takip mekanizmalarının geliştirilmesi gerekliliği ifade edilmiştir. Yukarıdaki bilgilere ek olarak, personel eğitimlerinin düzenli olarak yapılması ve madencilik sektörüne uygun teknik çözümler geliştirilmesi gerektiği de belirtilmiştir (Er, 2019).

Başka bir tez çalışmasında ise, Sökmen yapmıştır. Yeraltı madenlerinde personel takip ve haberleşme sistemlerinin güvenlik açısından incelenmiştir. Günümüzde iletişim ve bilişim teknolojilerinin hızla gelişmesiyle birlikte, madencilik sektörünün bu yeniliklere adapte olması hayati bir önem taşımaktadır. Yeraltında çalışanların konumlarının anlık olarak takip edilmesi ve haberleşmenin kesintisiz sağlanması, acil durum yönetimi açısından kritik bir role sahiptir. 2014 yılında yapılan mevzuat değişiklikleriyle, bu tür sistemlerin madenlerde kurulması zorunlu hale getirilmiştir. Çalışmada ayrıca, ülkemizde faaliyet gösteren beş yeraltı maden işletmesinde kurulu sistemler yerinde incelenmiş, ulusal ve uluslararası mevzuatlar göz önünde bulundurularak bir kontrol listesi hazırlanmıştır. Hazırlanan liste doğrultusunda işletmelerin mevcut uygulamaları değerlendirilmiş, eksiklikler tespit edilmiş ve çözüm önerileri sunulmuştur. Bulgular, haberleşme ve takip sistemlerinin madencilikte güvenliği artıran önemli unsurlar olduğunu ortaya koyduğu belirtilmiştir. Ancak, sistemlerin etkin bir şekilde çalışabilmesi için madenin yapısına uygun olarak tasarlanması, sinyal

yayılım testlerinin yapılması ve alternatif haberleşme yollarının oluşturulması gerektiği de belirtilmiştir. Önerilen çözümler arasında, sistemlerin acil durum eylem planlarına entegrasyonu, batarya ömrü ve sinyal kapsama alanlarının iyileştirilmesi gibi teknik iyileştirmeler bulunmaktadır. Yeraltı madenlerinde personel takip sistemleri, çalışanların anlık olarak izlenmesini sağlayarak iş güvenliğini artırmayı, çalışanların konumlarını belirlemek ve acil durumlarda hızlı müdahale edebilmek için geliştirildiği de ifade edilmiştir. Geleneksel yöntemler arasında defter kayıtları, tike tahtası uygulamaları ve lambahane kayıtları yer alırken, teknolojik gelişmelerle birlikte elektronik takip sistemleri yaygınlaşmıştır. RFID ve RSSI gibi teknolojiler kullanılarak, çalışanların hareketleri izlenebilmekte ve hassas konum belirleme yapılabilmektedir. Elektronik sistemlerde etiketler, belirli bölgelere yerleştirilen okuyucular aracılığıyla konum bilgisi sağlamakta ve izleme merkezine veri aktarmaktadır. Bazı sistemlerde, etiketlerin üzerindeki acil durum butonu sayesinde çalışanlar izleme merkezine uyarı gönderebilmektedir. Alternatif bağlantı yolları olan sistemler, göçük veya yangın gibi durumlarda bile çalışmaya devam edebilirken, altyapısı eksik sistemlerde takibin sürekliliği sağlanamamaktadır. Sinyal yayılım testleri ve madene özgü faktörler dikkate alınarak sistem kurulması, takip hassasiyetini artırarak acil durum yönetimini desteklemektedir. Bu sistemlerin etkin bir şekilde işletilmesi, madenlerde güvenliği artırırken verimliliği de olumlu yönde etkilemektedir (Sökmen, 2016).

Zhang vd., (2009) WiFi teknolojisine dayalı bir yeraltı madeni konum takip sistemi tasarımını ele almışlardır. Yeraltı madenciliğinde haberleşme sorunlarını çözmek, karmaşık arazi koşullarına uyum sağlamak ve geniş kapsama alanı gereksinimlerini karşılamak amacıyla geliştirilen sistem, fiber optik kabloların erişemediği bölgelerde etkin bir iletişim sağlayarak madencilerin konumlarını ve çalışma durumlarını gerçek zamanlı olarak takip etmeye imkân tanımaktadır. WiFi ağı üzerinden kurulan konum takip mekanizması, madencilerin güvenliğini artırmaya ve acil durum müdahalelerini daha verimli hale getirmeye yardımcı

olmaktadır. Sistem personel takibi, veri iletimi ve ana bilgisayar sistemi olmak üzere üç ana bileşenden oluşmaktadır. WiFi erişim noktaları aracılığıyla madencilerin konumlarını belirleyen yapı, yeraltı tünellerine belirli aralıklarla yerleştirilen WiFi ağ düğümleri sayesinde çalışmaktadır. Sensörler ile toplanan çevresel veriler ve personelin sağlık durumuna ilişkin bilgiler anlık olarak iletilerek merkezi yönetim tarafından analiz edilmektedir. Yazılım sistemi, konum belirleme, veri analizi, alarm mekanizmalarının kontrolü ve geçmiş veri sorgulama gibi işlevlere sahip olup, otonom yedekleme ve otomatik veri güncelleme özellikleri içermektedir. Çalışmanın sonucunda, WiFi tabanlı yeraltı konum takip sisteminin madencilikte güvenliği artırmak ve acil durum yönetimini iyileştirmek açısından büyük potansiyele sahip olduğu, yüksek güvenilirlik, düşük maliyet ve geniş kapsama alanı gibi avantajları sayesinde, gelecekte yeraltı madenlerinde yaygın olarak kullanılmasının beklendiği ifade edilmektedir (Zhang vd., 2009).

Yeraltı kömür işletmeleri için Lu ve Li (2011) sistem güvenliği mühendisliği teorisine dayalı bir tehlike denetim ve kontrol yöntemi önermişler ve tehlike yönetimini kapalı bir döngü haline getirmek için bir hesap verebilirlik mekanizması geliştirmişlerdir. Yöntem, Çin'deki kömür madenciliği işletmelerindeki güvenlik sorunlarını ele almak için kullanılmış ve bulguları, bu yöntemin kömür madenciliği endüstrisinin güvenliğini artırabileceğini göstermiştir. Bu uygulamaya benzer olarak Wang vd. (2016) kazaların çoğunun yetersiz güvenlik yönetiminden kaynaklandığını ve gizli tehlikelerin derhal çözülmediğini tespit etmiştir. Bu nedenle, Çin'deki kömür madeni güvenlik yönetimi boşluklarına dayalı olarak makro, mezo ve mikro(bireysel eğitmenler ve bölümler düzeyinde (mikro); kurumsal düzeyde (mezo); ve ulusal ve uluslararası düzeylerde (makro)) perspektiflerden bir kömür madeni güvenlik yönetim sistemi oluşturmuşlardır.

Zhang 2016 yılında yaptığı çalışmada ağırlıklı olarak kendisi tarafından geliştirdiği yeraltı madenciliği için akıllı bir sensör ve takip sistemi ele almıştır.

Madencilerin konumlarının gerçek zamanlı olarak takip edilmesi ve güvenlik önlemlerinin artırılması hedeflenmiştir. Takip sistemi iki adımda geliştirilmiştir; bunlardan ilki mesafeyi ölçmek için bilimsel bir yol bulmayı, ikincisi ise her bir madencinin konumunu gerçek zamanlı olarak belirlemeyi içermektedir. Mesafe ölçümü için Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (RSSI) kullanılmış ve sinyal iletiminde oluşan enerji kaybı hesaplanarak mesafe belirleme yöntemi geliştirilmiştir. Çevresel ve insani faktörlerden kaynaklanan hataları minimize etmek adına Gauss dağılımı, istatistiksel ortalama ve önceden belirlenmiş noktalar kullanılarak doğruluk artırılmıştır. Sonuçta, önerilen modelin hata payının sadece 0.1145 metre olduğu belirtilmiştir. Konum belirleme için, üç nokta konumlandırma yöntemi ele alınmış ve önerilen model ile doğruluk 0.6 metre iyileştirilmiştir. Sinyal iletimi için piyasada bulunan çeşitli protokoller karşılaştırılmış ve ZigBee protokolü seçilmiştir. ZigBee'nin düşük güç tüketimi (sadece 1mW) ve 65.000 cihaza kadar bağlantı kapasitesi sayesinde, birden fazla madencinin sistemden eşzamanlı olarak faydalanabilmesi sağlanmıştır. Sistemi daha güvenli hale getirmek adına MQ-2 gaz sensörü ve sıcaklık sensörü eklenmiştir. MQ-2 sensörü, zararlı gazları ve dumanı algılayarak, belirlenen eşik değeri aşıldığında yer üstü kontrol merkezine uyarı göndermektedir. Sonuç olarak yapılan çalışma ile, madencilerin güvenliğini artırmaya yönelik ekonomik ve etkili bir akıllı takip sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Sistem, madencilerin konumlarını yüksek doğrulukla takip edebilir, çevresel tehlikeleri erken uyarı ile tespit edebilir ve düşük enerji tüketimi sayesinde uzun süreli kullanım imkanı sunmaktadır (Zhang, 2016).

Yeraltı madenlerindeki iş kazaları sonrası mahsur kalan veya kaybolan çalışanların hızlı bir şekilde tespit edilmesi, hayatta kalma şanslarını önemli ölçüde artırabilmektedir. Mevcut kayıp kişi bulma sistemlerinin çeşitliliği nedeniyle en uygun ve amaca uygun sistemin seçilmesi madencilik koşullarına bağlı olarak oldukça zor olabilmektedir. Ngwenyama vd., (2023) yaptıkları çalışmada, yeraltı madenleri için uygun bir kayıp kişi bulma sisteminin kullanıcı

gereksinimleri geliştirilmişlerdir. Bu gereksinimler, kurtarma ekiplerinin kayıp kişileri hızlı bir şekilde bulmalarını ve etkili bir şekilde müdahale etmelerini sağlamak için tasarlanmıştır. Yapılan çalışmada, mevcut kayıp kişi bulma sistemleri **Kablo Üzerinden (TTW), Havadan (TTA) ve Yer-Üzerinden (TTE)** olmak üzere üç ana gruba ayrılmıştır. TTW sistemleri, kablolu altyapı üzerinden kesintisiz iletişim sağlasa da kazalar sonrası hasara karşı oldukça duyarlıdır. TTA sistemleri, RFID ve inertial navigasyon gibi teknolojilerle konum belirleme avantajı sağlarken, sinyal kesilmeleri ve kör noktalar gibi sınırlamalar içerebilmektedir. TTE sistemleri, elektromanyetik veya sismik dalgalar kullanarak büyük kaya kütleleri altında kayıp kişilerin yerini belirleyebilmekte, ancak derin madenlerde etkinliği sınırlı olabilmektedir. Bu çalışmada, kullanıcı gereksinimleri, kayıp kişi bulma sistemlerinin gerçek zamanlı konum takibi, iki yönlü iletişim, hayati göstergelerin izlenmesi ve dayanıklılık gibi kritik özelliklere sahip olması gerektiğini de vurgulanmıştır. Çalışma ile ayrıca, mevcut sistemlerin tüm gereksinimleri karşılamadığı görülmüş olup, yeni teknolojilerin geliştirilmesi gerektiği de belirtilmiştir. Kullanıcı gereksinimlerine bağlı olarak, belirli bir sistemin farklı kaza senaryolarında uygulanabilirliğini değerlendirmek için de kullanılabileceği ifade edilmiştir.

Dan vd., 2016 yılında yaptıkları çalışmada, yeraltı kömür madeninde akıllı izleme sistemlerden olan **ZigBee** kablosuz sensör ağı tabanlı tasarımını incelenmiştir. Yeraltı kömür madenciliği, yüksek riskli bir çalışma ortamına sahip olup karbonmonoksit, karbondioksit, metan, oksijen konsantrasyonu, rüzgar hızı, hava basıncı, sıcaklık ve duman gibi kritik çevresel parametrelerin sürekli izlenmesini gerektirmektedir. Mevcut sistemler esneklikten yoksun, entegrasyon seviyesi düşük ve günlük operasyonları tam olarak destekleyememektedir. Bu nedenle, kablosuz sensör ağları kullanılarak daha akıllı, ölçeklenebilir ve güvenilir bir izleme sisteminin geliştirilmesi amaçlanmıştır. Önerilen sistem, ZigBee kablosuz sensör ağı ile veri toplama yaparak endüstriyel ethernet üzerinden merkezi izleme noktalarına veri aktarımını sağlamaktadır. ZigBee

teknolojisinin düşük güç tüketimi, geniş kapsama alanı ve güvenilir veri iletimi gibi avantajları, kömür madeni izleme sistemlerinin etkinliğini artırmaktadır. Sistem ayrıca, yüksek güvenlikli halkalı ethernet bağlantıları sayesinde kesintisiz veri akışını garanti etmekte ve her noktadan gerçek zamanlı kontrol sağlanmaktadır. Çalışmada ayrıca karbon monoksit ve metan gazı konsantrasyonları için alarm seviyeleri, havalandırma sistemleri için rüzgar hızı limitleri, madencilik ekipmanlarının sıcaklık kontrolü gibi kritik parametrelerin belirlenmesi de ele alınmıştır. Sensörlerden elde edilen veriler, akıllı karar alma mekanizmalarıyla işlenerek acil durum önlemleri ve personel tahliye talimatları oluşturulabilmektedir. Çalışma ile kömür madenlerinde güvenliği artırmayı, acil durumlara hızlı müdahaleyi desteklemeyi ve madencilik operasyonlarını daha verimli hale getirmeyi amaçlanmıştır. Sonuçta, ZigBee kablosuz sensör ağı tabanlı sistem, gelecekte madencilik sektöründe yaygın bir uygulama alanı bulabilmekte ve otomasyon destekli izleme çözümleriyle entegrasyonu kolaylaştırabilme imkanı sunabilmektedir.

Fink ve Beikirch'in 2015 yılında yeraltı kömür madenciliğinde personel takip sistemleri üzerine yaptıkları çalışmada, GPS teknolojisinin kapalı alanlarda sınırlı kullanımı nedeniyle, radyo sinyali gücü (RSS) ölçümlerine dayalı takip sistemleri geliştirilmiştir. MineLoc adı verilen bir sistem, bu sistem radyo sinyal gücü (RSS) ölçümleriyle madencilerin konumlarını belirlemekte ve güvenlik amacıyla gerçek zamanlı izleme sağlamaktadır. Önerilen model, geleneksel iç mekan radyo yayılım modellerinden farklı olarak tünel ortamlarında dalga kılavuz etkisini göz önünde bulundurmaktadır. Çalışmada, ışın izleme (ray tracing) tekniği kullanılarak radyo frekanslarının tünel içindeki yayılımı analiz edilmiş ve farklı frekans bantlarının performansları test edilmiştir. 2.4 GHz ve 869.85 MHz frekansları arasındaki karşılaştırmalar, daha yüksek frekansların daha düşük sinyal zayıflaması sunduğunu göstermiştir. MineLoc sistemi, tünel ortamlarında konumlandırma doğruluğunu artırmak için gelişmiş ağırlıklı merkez (weighted centroid localization - WCL) algoritmasını kullanılmıştır. Çalışmada, WCL

algoritmasına yapılan iyileştirmelerin konum doğruluğunu artırdığı ve madencilerin güvenliğini sağlamak için daha verimli takip mekanizmaları sunduğunu ortaya koymuştur. Sistemin, ağır iş makineleriyle çalışan madenciler için ek güvenlik katmanı sağladığı ve kapsama alanı genişletilerek daha fazla kullanıcı için uygulanabilir hale getirildiği ifade edilmiştir. Genel olarak yapılan çalışmada, kömür madenciliğinde radyo sinyali gücü tabanlı konumlandırmanın etkinliğinin artırılması, madencilerin güvenliğinin geliştirilmesi ve tünel ortamlarındaki dalga kılavuz etkisinin optimize edilerek konum tahmini doğruluğunun yükseltilmesi amaçlanmıştır.

Yeraltı kömür madenlerinde kullanılan sensörlerden günlük olarak hava akışı, gaz konsantrasyonu, sıcaklık, basınç değişiklikleri gibi büyük miktarda veri toplanmaktadır. Bu verilerin saklanması, incelenmesi, analiz edilmesi ve yorumlanması sürecini kolaylaştırmak amacıyla Agioutantis vd., (2014) yeni bir veri yönetim sistemi geliştirilmişlerdir. Geliştirilen sistem, birden fazla proje ve projeye bağlı farklı sensör setlerini destekleyebilecek şekilde tasarlanmış olup, harici veri kaynaklarından da bilgi alabilme kapasitesine sahiptir. Mevcut çalışmalar, zaman serilerinde ani yükselişleri belirleme ve analiz etmeye odaklanmaktadır. Kısa zaman aralıklarında bu ani değişimler görsel olarak tespit edilebilir, ancak önemli değişimleri sistematik olarak tanımlamak gerekmektedir. Ayrıca, bir sonraki aşamada üretim ile metan salınımı, fan performansı ile barometrik basınç, günlük sıcaklık değişimleri gibi parametreler arasındaki ilişkilerin incelenmesi hedeflenmiştir. Bu tür ilişkiler, maden ortamının davranışlarını daha iyi anlamaya yardımcı olabilir. Özellikle, düşen barometrik basınç, arızalı fanlar veya artan üretim ile metan konsantrasyonunun yükselmesi arasındaki bağlantılar doğrulanmalı, böylece yüksek riskli durumlar önceden tespit edilerek önlem alınabilmektedir. Çalışmada ayrıca madenciler için insan-bilgisayar arayüzünün önemine de değinilmektedir. Mevcut sistemler genellikle sabit operatörlere yönelik geliştirilmiştir. Ancak, birçok maden çalışanı, kritik verileri doğrudan değerlendirme ve bilinçli kararlar alma imkanına sahip değildir.

Dayanıklı, taşınabilir ve güvenli teknolojilerin tasarlanması gerekmektedir. Ayrıca, madencilere anlık veri akışı sağlayarak sistem hatalarını önceden tespit etme ve güvenlik koşullarını doğrulama imkanı sunacak bir arayüz geliştirilmesi planlanmıştır. Madenlerde ileri düzey izleme ve analiz sistemlerinin uygulanması oldukça karmaşık olup, güvenliği artırarak daha bilinçli kararlar alınmasını sağladığı için bu tür yatırımlar uzun vadede büyük kazanımlar sağlayacağı ifade edilmiştir.

Sabu vd. yaptıkları çalışmada, yeraltı madenlerinde güvenliğin artırılması ve takibin geliştirilmesi için **Ultra Geniş Bant (UWB)** tabanlı bir kablosuz sensör ağı önerilmektedir. Bu sistem, sensörlerin stratejik noktalara yerleştirilmesiyle gerçek zamanlı veri toplamakta ve **Alınan Sinyal Gücü Endeksi (RSSI) Parmak İzi Veritabanı** kullanarak konum belirlemektedir. Yeraltı maden ortamlarında hava kalitesi, sıcaklık, nem ve zehirli gazlar gibi risk faktörleri nedeniyle etkili bir veri toplama sistemi büyük önem taşımaktadır. Geleneksel kablolu telemetri sistemleri yerine, Ultra Geniş Bant (UWB) tabanlı kablosuz sensör ağı kullanılarak gerçek zamanlı veri toplanması amaçlanmıştır. Önerilen sistem, Alınan Sinyal Gücü Göstergesi (RSSI) Parmak İzi Veritabanı kullanarak konum belirleme yapmaktadır. GPS teknolojisinin kapalı alanlarda sinyal kaybına uğraması nedeniyle, bu alternatif yöntem tercih edilmiştir. RSSI tabanlı parmak izi yöntemi iki aşamalı bir süreçtir: İlk aşamada, maden içindeki belirlenmiş referans noktalarından RSSI değerleri toplanarak bir veritabanı oluşturulmuştur. İkinci aşamada, hareketli düğümlerin anlık RSSI değerleri bu veritabanı ile karşılaştırılarak konum hesaplanmıştır. Çalışmada konum belirleme yöntemleri, İki Adımlı Yaklaşım, Zaman Farkı ile Konumlandırma (TDoA) ve Açı ile Konumlandırma (AoA) gibi tekniklerle analiz edilmiştir. Ayrıca, hataya duyarlı Katman filtresi kullanılarak konum doğruluğunun artırılması sağlanmıştır. Testler sonucunda, önerilen modelin konum belirleme hatası 0,5 metre altında olduğu görülmüştür. DecaWave DW1000 sensörleri ve Raspberry Pi donanımı ile yapılan deneyler, sistemin yüksek doğruluk sunduğu ifade edilmiştir. Çalışmada,

madencilerin konumlarını yüksek doğrulukla takip edebilen, düşük enerji tüketimi sağlayan ve kurtarma operasyonlarında etkin kullanılabilecek bir kablosuz iletişim sistemi önerisinde bulunulmuştur. Makale ayrıca, UWB sensörlerinin yüksek doğruluğunu vurgulamakta ve çeşitli yöntemlerle (ToA, TDoA, AoA) sinyal temelli konumlandırma üzerine odaklanmaktadır. Sonuçta, Decawave DW1000 modülü ve Raspberry Pi donanımı kullanılarak yapılan testler, sistemin hem doğruluk hem de güvenilirlik açısından yüksek performans gösterdiğini ortaya koymaktadır. Ayrıca IEEE 802.15.4a protokolü kapsamında belirlenen kanallarda hata oranı 0.5 metre altında kalmış ve sistemin geniş bir uygulama alanına sahip olduğunu işaret etmektedir.

Çavur 2018 yılında yaptığı çalışmada da kapalı ortamlarda kullanılmak üzere Radyo Frekans (RFID) protokolü ve arayüzü, açık kaynak kodlu bir Bilgi Sistemleri (BS) yazılımına entegre edilmiştir. RFID'nin açık kaynak kodlu bir yazılıma entegrasyonu için “Tight Entegrasyon” metodolojisi geliştirmiş ve altlık olarak açık kaynak kodlu BS kullanılması da mekânsal gösterim ve analiz imkânı sağlamıştır. Java dili ile kodlanan özgün bir konumlandırma algoritması sayesinde, işçilerin anlık konumları 20 metre hassasiyetle belirlenmiştir. Geliştirilen sistem, Çankırı Tuz Madeni'nde test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Maden içerisindeki madenciler RFID etiketleri taşıyarak sinyal göndermekte, RFID okuyucular bu sinyalleri algılayarak konumlarını belirlemiştir. Konum verileri, PostGreSQL veritabanına kaydedilerek Coğrafi Bilgi Sistemi (CBS) yazılımı üzerinden görselleştirilmiştir. Sistem, madencilerin güvenliğini artırmak, acil durum yönetimini kolaylaştırmak ve kazalara müdahaleyi hızlandırmak amacıyla tasarlanmıştır. Sonuç olarak, RFID tabanlı konumlandırma algoritmaları, kapalı alanlardaki takip sistemlerinin güvenilirliğini artırmakta ve madencilik gibi zorlu çalışma ortamlarında güvenlik açısından kritik bir çözüm sunmaktadır. Çalışmada önerilen sistem, Türkiye’deki beş farklı maden işletmesinde kullanılmaya başlanmıştır (Cavur, 2018).

Cavur ve Demir'in yaptıkları çalışmada, yeraltı madenciliğinde gerçek zamanlı konum takibini sağlamak amacıyla RFID teknolojisiyle geliştirilen RSSI tabanlı hibrit bir algoritma incelenmiştir. GPS'in kapalı alanlarda yeterli olmaması nedeniyle, madencilerin konumlarını hassas bir şekilde belirleyebilmek için alternatif sistemler gerekmektedir. Çalışmada, parmak izi tabanlı (finger printing) bir yöntem kullanılarak mevcut tekniklerin dezavantajları giderilmeye çalışılmıştır. Önerilen algoritma, Ağırlıklı K-En Yakın Komşu (Weighted K-Nearest Neighbors- WKNN) yöntemi ile karşılaştırılmış ve doğruluk açısından daha üstün olduğu tespit edilmiştir. Testler sonucunda, algoritmanın doğruluk seviyesi ofis ortamında 2,52 m, yeraltı madeni ortamında ise 3,13 m olarak belirlenmiştir. WKNN algoritması ise sırasıyla 4,01 m ve 4,33 m doğruluk değerlerine ulaşmıştır. Yapılan çalışmada, önerilen hibrit algoritmanın daha az altyapı yatırımı ile daha yüksek doğruluk sağlayabileceği de ifade edilmiştir. RFID tabanlı iç mekan konumlandırma çözümlerinin avantajları arasında düşük maliyet, geniş kapsama alanı ve uzun ömürlü kullanım yer almaktadır. Çalışmada ayrıca, sinyal kayıplarını azaltmak için referans etiketler kullanılmış, verilerden sapmaları gidermek adına istatistiksel filtreleme teknikleri uygulanmıştır. Madencilik sektöründe gaz sensörü ve basınç sensörü gibi ek sistemlerle entegre edilerek daha akıllı madencilik ortamları yaratılması önerilmektedir (Cavur ve Demir, 2022).

Yeraltı madenciliğinde güvenilir haberleşme sistemleri, hem iş güvenliği hem de operasyonel verimlilik açısından kritik bir rol oynamaktadır. Geleneksel kablolu iletişim sistemleri, yangın, galeri çökmesi, patlama ve elektrik kesintisi gibi olağanüstü durumlarda işlevini yitirebilmektedir. Bu nedenle, kablosuz haberleşme sistemlerinin geliştirilmesi ve uygulanması büyük önem taşımaktadır. Patri vd., (2013) yaptığı çalışmada, ses ve veri iletişimi sağlayan kablosuz haberleşme teknolojilerinin gelişimi ele alınmış ve hem kablolu hem de tamamen kablosuz sistemler karşılaştırılmıştır. Dünyanın farklı bölgelerinde, özellikle ABD, Avustralya, Kanada, Güney Afrika ve Avrupa'daki yeraltı madenlerinde

uygulanan kablosuz teknolojiler incelenmiş, deneysel araştırmalar ve saha uygulamaları değerlendirilmiştir. Yeraltı madenlerinde haberleşme sistemleri kablolu, yarı-kablosuz ve tamamen kablosuz olmak üzere üç ana kategoride sınıflandırıldığı belirtilmiştir. Kablolu sistemler, manyeto telefonlar, çağrı telefonları ve ses destekli sistemler gibi geleneksel iletişim araçlarını içermekte olup, bu sistemler acil durumlarda sınırlı bir performans sergileyebilmektedir. Radyo frekanslı tanımlama (RFID) sistemleri, madencilerin konum takibini sağlamak için kullanılan aktif ve pasif etiketlerden oluşmaktadır. WiFi (IEEE 802.11), Bluetooth (IEEE 802.15) ve WiMax teknolojileri ise madencilik ortamında kablosuz veri aktarımına imkan tanımaktadır. Özellikle Ultra Geniş Bant (UWB) sistemleri, düşük enerji tüketimi ile kısa mesafelerde yüksek veri aktarım kapasitesi sunarak önemli avantajlar sağlamaktadır. Gelişen haberleşme teknolojileri, madencilerin acil durumlarda konumlarının belirlenmesini ve güvenli tahliye süreçlerini desteklemektedir. ZigBee tabanlı kablosuz sensör ağları, madencilik ortamındaki değişkenleri izleyerek operasyonel güvenliği artırmaktadır. Multi-Hop protokolleri, uzun mesafeli kablosuz iletişimi mümkün kılmak için taşınabilir röle düğümlerini kullanmaktadır. Ses üzerinden sensör ağları, yeraltındaki sensörlerden toplanan verileri ana kontrol istasyonuna iletmek için kullanılan düşük frekanslı kablosuz ağ teknolojilerini içermektedir. Yapılan çalışmada ayrıca, madencilik sektörü için önerilen çeşitli haberleşme sistemleri incelenmiş ve geçmiş araştırmalar ışığında teknolojik gelişmeler değerlendirilmiştir. SIAMnet, TeleMag, PED ve VDV sızıntılı besleyici sistemleri, yüksek veri hızında ses, görüntü ve mobil veri iletişimi sağlayarak yeraltı madenciliğinde haberleşme standartlarını yükseltmektedir. Sonuç olarak, madencilikte kablosuz iletişim sistemlerinin uygulanması, madencilerin güvenliğini artırmak, kaza sonrası arama-kurtarma süreçlerini hızlandırmak ve operasyonel verimliliği optimize etmek açısından büyük önem taşımaktadır. Gelecekte, RFID, WiFi ve UWB gibi teknolojilerin daha yaygın hale gelmesi beklendiği ifade edilmiştir (Patri vd., 2013).

Yapılan çalışmada, RFID ve CAN teknolojileri kullanılarak yeraltı madenlerinde personel takibini sağlamak için bir sistem geliştirilmiştir. RFID teknolojisi sayesinde madenciler, üzerlerinde taşıdıkları elektronik etiketler ile konumlandırılıp tanımlanabiliyorlar. Bu sayede Toplanan veriler CAN adı verilen veriyolu aracılığıyla yüzeye iletilerek gerçek zamanlı takip sağlanmaktadır. Çalışma esas olarak, madenciler RF sinyalleri yayan kimlik kartları taşımakta ve bu sinyaller en yakın baz istasyonu tarafından alınarak merkezi bilgisayara iletilmektedir. Merkezdeki bilgisayar, personelin konumunu görüntüleyerek yöneticilere gerçek zamanlı takip ve acil durum müdahale yetenekleri sağlamaktadır. Sistem, Çin'deki bir kömür madeni örneğinde test edilmiş ve başarılı sonuçlar elde edilmiştir. Fiber optik veri aktarımı ve Hirschmann endüstriyel Ethernet anahtarları gibi teknolojilerle iletişim güvenliği sağlanmış olup, üç boyutlu simülasyon teknolojisi ile yeraltı ve yüzey ortamları modellenerek acil durum senaryolarına görsel desteklenmiştir. Çalışmada, geliştirilen sistem ile madencilik sektöründe güvenliği artırmayı, operasyonları daha verimli yönetmeyi ve acil durum müdahalelerini iyileştirmeyi amaçlamıştır. Çalışmanın sonunda yapılan ilk testler ve uygulamalar ile sistemin ekonomik ve başarılı sonuçlar verdiği de ifade edilmiştir (Han, 2012).

Centeno vd., çalışmasında, RFID'nin malzeme lojistiği, personel konumlandırma, acil durum tahliye ve kurtarma operasyonları, çarpışma önleme sistemleri ve madencilik güvenlik odalarının denetimi gibi birçok uygulamada nasıl kullanılabileceğini detaylı bir şekilde ele alınmıştır. Çalışmanın sonunda, RFID teknolojisinin düşük maliyetli, yüksek güvenlik standartlarına uygun ve yeraltı madenciliğinde gerçek zamanlı operasyonel yönetimi destekleyen bir çözüm sunduğu da vurgulanmıştır (Centeno vd., 2018).

Gök, 2018 yeraltı madenlerinde kullanılan çeşitli personel takip ve haberleşme teknolojilerine dair bilgi sağlanması, sistemlerin değerlendirilebilmesi ve bu değerlendirmeler neticesinde yeraltı maden sahalarında kullanılması amacıyla mobil tabanlı personel takip sistemi

otomasyonu geliştirmiştir. Yeraltı maden sahasına kablosuz ağ altyapısı kurulmuş ve parmak izi yöntemi kullanılarak mobil uygulama geliştirilmiştir. Yöntem seçiminde, sistemin kurulum kolaylığı, düşük maliyeti ve programlamaya uygun bir çözüm olması göz önünde bulundurulmuştur. Uygulama kapsamında parmak izi yönteminin, referans noktası sayısı ve erişim noktası sayısına ne şekilde bağımlı olduğu test edilmiştir.

Wang, Cao ve Zhou (2018), madencilik güvenliğinin etki faktörlerini ve ilgili etkileşimli mekanizmaları incelemek için Çin'deki 58 kömür madeni kazasına ilişkin istatistiklere göre birden fazla düzeyde 22 faktör içeren bir madencilik güvenliği endeks sistemi oluşturmuştur. Araştırmaları, fiziksel çevre ve jeolojik koşulların kömür madenciliği kazalarının doğrudan nedenleri olduğunu göstermiştir. Zhen vd. 2019 Çin'de kömür madenciliği işletmeleri gizli sorunları tespit etmek üzere görevlendirilen güvenlik personelinin yeraltında güvenli bir şekilde çalışabilmesi için personel güvenlik takip sistemi geliştirmişlerdir.

2006 yılında yürürlüğe giren Mine Improvement and New Emergency Response Act (Madencilik İyileştirme ve Yeni Acil Müdahale Yasası) (MINER Act) sonrası, yeraltı kömür madenciliğinde elektronik takip sistemleri büyük önem kazanmıştır. Bu sistemler, madencilerin gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlayarak acil durumlarda kurtarma operasyonlarını hızlandırmayı amaçlamaktadır. Çalışmada, mevcut takip sistemleri teknoloji gruplarına ayrılarak sınıflandırılmış ve konum doğruluğunu artırabilecek, altyapıyı azaltabilecek veya performansı iyileştirebilecek yenilikçi teknolojiler incelenmiştir. Takip teknolojileri üç ana kategoriye ayrılmaktadır: Aktif RFID, Zone-based ve Reverse RFID, Wi-Fi ve Zigbee tabanlı ağlar. Aktif RFID, madenciler üzerine takılan pilli etiketlerin, yeraltındaki okuyucular tarafından algılanmasıdır. Zone-based ve Reverse RFID, etiketler ya madencilerde ya da altyapıda sabit konumlandırılarak takip sağlamaktadır, daha düşük maliyetli olmalarına rağmen okuma menzili kısa olduğu için henüz güvenilir bir alternatif

sunamamaktadır. Wi-Fi ve Zigbee tabanlı ağlar ise, madencilerin konumlarını belirleyerek iki yönlü haberleşme sağlayan sistemlerdir. Çalışmada ayrıca sinyal kayıplarını azaltmak için yüksek hassasiyetli ultra geniş bant (UWB) sistemleri ve elektromanyetik alan değişimlerini (NFC) kullanarak madencinin konumunu yüksek hassasiyetle belirleme potansiyeline sahip teknolojiler gibi gelişmekte olan çözümler değerlendirilmiştir. Sonuç olarak, elektronik takip sistemleri madencilerin güvenliğini artırmakta ve acil durum yönetimini güçlendirmektedir. Gelişen teknolojiler sayesinde, takip doğruluğunu artırarak altyapı maliyetlerini düşürmek ve daha dayanıklı sistemler oluşturmak mümkün olabilir (WEB 1, Sunderman, 2023).

Zheng vd., çalışmalarında, yeraltı madenlerinde güvenlik personeli için denetim güzergahı planlama sorunu ele almışlardır. Yeraltı kömür madenleri, karmaşık tünel ağlarına sahip olup ve bu durum, güvenlik denetimlerinin verimliliğini sınırlayabilmektedir. Bu nedenle, denetim güzergahlarının optimize edilmesi kritik bir gereklilik haline gelmiştir. Çalışmada, güvenlik personelinin birden fazla başlangıç noktasından hareket ederek belirli denetim noktalarını ziyaret ettiği bir rota planlama problemi incelenmiştir. Optimum güzergahların oluşturulması için karma tam sayılı doğrusal programlama (MILP) modeli geliştirilmiştir. Model, denetim süresini ve personelin çalışma yükünü dengelemeyi amaçlamıştır. Küçük ölçekli problemler ticari doğrusal programlama çözücüleri (örneğin CPLEX) ile çözülebilirken, orta ve büyük ölçekli problemler için yerel dallanma (LB) yöntemi, tabu arama yöntemi ve geri yayılım (BP) sinir ağı yöntemi önerilmiştir. Yapılan deneyler, önerilen algoritmaların farklı ölçeklerde verimli çözümler ürettiğini gösterdiği belirtilmiştir. Sonuçta, güvenlik denetimlerinin daha hızlı ve düşük maliyetle gerçekleştirilebileceği, ayrıca personelin iş yükünün dengelenerek verimliliğin artırılabileceğini ortaya koymuştur. Geliştirilen model, özellikle karmaşık yeraltı maden ortamlarında denetim süreçlerini iyileştirmek isteyen madencilik işletmeleri için faydalı olabileceği ifade edilmiştir (Zhen vd., 2019).

Yeraltı madenciliğinde görünür ışık iletişimi (VLC) ile konum belirleme üzerine Iturralde vd., bir çalışma yapmışlardır. Geleneksel konum belirleme teknolojileri (GPS, RFID vb.) kapalı alanlarda sinyal kaybına uğradığından, madencilerin yerlerini hassas bir şekilde tespit etmek için yeni yöntemlere ihtiyaç duyulmaktadır. Önerilen sistem, LED ışıkları ve üçgenleme (trilateration) tekniğini kullanarak, madencileri ve ekipmanları takip etmeyi amaçlamaktadır. Araştırmada, optik kanalın çevresel koşullar nedeniyle etkilenebileceği belirlenmiş ve bunun önüne geçmek için sabit referans noktalarından gelen sinyallerin optik kanal durumunu periyodik olarak değerlendirmek amacıyla kullanılması önerilmiştir. Simülasyon sonuçlarına göre, önerilen VLC tabanlı algoritma, LANDMARC RFID sistemine kıyasla daha düşük konum hata payı sunmaktadır. VLC sisteminin radyo frekansı temelli teknolojilere göre avantajları arasında elektromanyetik girişime karşı dayanıklılık, lisans gerektirmeyen kullanım ve kapalı alanlara uyumluluk yer almaktadır. Çalışmada, madencilik ortamında LED'lerin belirli hücrelere yerleştirilerek, madenciler ve makineler üzerindeki optik alıcılarla veri alışverişi yapabileceği gösterilmiştir. Konum belirleme için quadratic (ikinci dereceden) denklemler temel alınarak üçgenleme yöntemi uygulanmıştır. Deneyler, referans noktalarının sayısının artırılmasının konum doğruluğunu önemli ölçüde iyileştirdiğini göstermiştir. Sonuç olarak, VLC ve üçgenleme kombinasyonu, madencilik ortamında yüksek doğrulukta konum takibi sağlamak ve acil durumlara hızlı müdahale etmek için uygulanabilir bir çözüm sunmaktadır (Iturralde vd., 2014).

Endonezya'daki yeraltı madenciliğine yönelik gerçek zamanlı personel ve ekipman takip sisteminin tasarım ve uygulama stratejisine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Çalışmada mevcut Universal ID (UID) ve giriş/çıkış takip sistemleri, agresif yeraltı madeni ortamında güvenilir konum takibi sağlamamaktadır. Ayrıca, acil durumlarda her madencinin gerçek zamanlı konumunu tespit edebilmek mümkün değildir. Bu nedenle, Radyo Frekansı Tanımlama (RFID) ve Kablosuz Ağ (Wi-Fi) altyapısı kullanılarak geliştirilmiş yeni bir sistem

önerilmiştir. Çalışmada, mevcut UID sisteminin yaşadığı güç kesintileri, cihaz arızaları ve veri doğrulama hataları analiz edilmiştir. Yapılan incelemeler, sistemin günlük olarak çalışamaz hale geldiğini ve güvenlik açısından yetersiz olduğunu göstermiştir. RFID ve Wi-Fi tabanlı konum takibi, madencilerin gerçek zamanlı olarak izlenmesini sağlayarak, acil durum müdahalesini hızlandırabilmektedir. Çalışmada, mevcut madencilik mevzuatına uyum sağlayan ve küresel kablosuz teknolojilerle entegre edilebilecek bir çözüm sunulmuştur. Önerilen sistemin uygulanabilirliği için aşamalı uygulama stratejisi benimsenmiştir. İlk aşamada kısıtlı bir alan içinde prototip testleri yapılacak, ikinci aşamada bütün giriş ve çıkış noktalarına yayılacaktır. Son aşamada ise 5000'den fazla personel ve ekipmanı kapsayacak şekilde tam ölçekli sistem devreye alınacaktır. Maliyet ve geri dönüş analizi, sistemin %18 iç verim oranı ve 4 yıl içinde geri ödeme süresi ile finansal olarak uygulanabilir olduğunu göstermiştir. Sonuçta, RFID ve Wi-Fi tabanlı hibrit bir konum takip sistemi, madencilerin güvenliğini artırarak acil durum yönetimini iyileştirmekte ve operasyonel verimliliği geliştirebildiği ifade edilmiştir (Setiawan 2012).

Yeraltı madenlerindeki iletişim ve takip sistemlerine yönelik bir çalışma yapılmıştır. Yeraltı madenleri, karmaşık tünel yapıları ve zorlu çevresel koşulları nedeniyle güvenli iletişimi sağlamak için özel sistemlere ihtiyaç duymaktadır. Madencilerin güvenliğini artırmak ve iş koordinasyonunu sağlamak amacıyla geliştirilen bu sistemler, rutin operasyonlarda ve acil durum senaryolarında etkin iletişim sağlaması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada, mevcut kablolu ve kablosuz iletişim çözümlerinin avantajlarını ve karşılaştıkları zorlukları değerlendirerek, mühendislik ve bilimsel temellerin oluşturulması için gerekli faktörler ele alınmıştır. Yeraltı madenciliğinde iletişimi etkileyen temel unsurlar arasında şiddetli sinyal kaybı, yansıma ve kırılma sorunları, çoklu yol zayıflamaları, düşük sinyal yayılma hızı ve çevresel gürültü yer aldığı belirtilmiştir. Bu faktörler, elektromanyetik dalgaların yayılımını doğrudan etkileyerek iletişim performansını düşürmektedir. Çalışmada kablolu iletişim (TTW), hava yoluyla

iletişim (TTA) ve toprak aracılığıyla iletişim (TTE) olmak üç ana iletişim yöntemi ele alınmıştır. Kablolu sistemlerin genellikle sızıntılı kablo (Leaky Feeder) kullanarak iletişim sağladığı, ancak maden göçükleri, yangınlar ve diğer kazalar bu altyapıyı işlevsiz hale getirebildiği ifade edilmiştir. Kablosuz sistemler (TTA), radyo dalgalarının maden tünellerindeki yayılma koşullarına bağlı olarak önemli sinyal kayıpları yaşadığı belirtilmiştir. Toprak aracılığıyla iletişim (TTE) ise çok düşük frekans (ULF) sinyalleri kullanarak iletişim sağlamakta olup ve acil durumlarda avantaj sunmaktadır. Çalışma, RFID ve Wi-Fi tabanlı takip sistemleri, düğüm tabanlı ağlar ve otonom konum belirleme çözümleri üzerine detaylı bir inceleme sunmuştur. Çalışmada ayrıca, yeraltı madenlerinde sensör füzyonu, ultra geniş bant (UWB) sistemleri ve yazılım tanımlı radyo (SDR) teknolojileri gibi yeni araştırma yönleri ile ilgili bilgiler verilmiş ve gelecekteki gelişmeler için öneriler sunulmuştur (Misra vd., 2009).

Yeraltı madenciliğinde iletişim altyapısının planlanması ve uygulanmasına yönelik ve genel yönergeleri içeren bir çalışma yapılmıştır. Global Mining Guidelines Group (GMG) tarafından hazırlanan çalışmada, madencilik faaliyetleri sırasında güvenli, sürdürülebilir ve verimli iletişim sistemleri oluşturmak için kapsamlı öneriler sunulmuştur. Buna göre yeraltı madenleri, karmaşık tünel yapıları ve zorlu çevresel koşullara sahip olduğundan, iletişim altyapısının dikkatlice planlanması gerektiği belirtilmiştir. Çalışmada, WiFi, RFID, LTE ve fiber optik gibi teknolojiler incelenmiş ve maden ortamında nasıl uygulanabileceği ele alınmıştır. Geleneksel sızıntılı kablo (Leaky Feeder) sistemlerinin yerini alan dijital ve kablosuz ağların avantajları, özellikle personel ve ekipman takibi, acil durum müdahalesi ve otomasyon açısından değerlendirilmiştir. Kılavuzda ayrıca ağ güvenliği, kontrol odaları, uzaktan yönetim, veri koruma ve risk değerlendirme gibi kritik konulara da yer verilmiştir. Madencilik operasyonlarının dijitalleşmesi, veri miktarının artmasına ve işletmelerin yüksek hızlı, güvenilir ağ altyapısına ihtiyaç duymasına neden olmaktadır. Bu nedenle, madencilikte kullanılan iletişim sistemlerinin, sinyal

yayılımı, kapsama alanı, ağ topolojisi ve güvenlik protokolleri açısından titizlikle planlanması gerekmektedir. Çalışma ilave olarak, optimum iletişim altyapısı seçimi için pratik uygulamalar, saha çalışmalarından elde edilen bulgular ve uluslararası standartlara uyum süreçlerini içermektedir. Kılavuz, mevcut teknolojileri ve madencilik operasyonlarına yönelik en iyi uygulamaları içeren bir kaynak olarak maden işletmecileri, mühendisler ve teknik uzmanlar için faydalı bilgiler sunmaktadır (Purple Rock Inc., 2018).

Yeraltı madenlerinde yerel ve uzaktan veri iletişimi için yenilikçi teknolojilere dayalı çözümler kademeli olarak benimsenmektedir. GSM sinyallerinin eksikliği, zayıf hücresel iletim ve RF dalgalarının elektronik cihazlar üzerindeki elektromanyetik parazitleri, optik iletim teknolojilerinin güvenilir bir iletişim alternatifi olmasını sağlamaktadır. Optik kablosuz iletişim teknolojileri olan Görünür Işık İletişimi (VLC), Işık Güvenilirliği (LiFi) ve Optik Kamera İletişimi (OCC), yenilikçi çözümler olmalarına rağmen yerel, kısa ve orta mesafeli veri iletiminde klasik RF tabanlı iletişim yöntemlerine kıyasla önemli avantajlar sunmaktadır. Hızlı, çevre dostu, güvenli ve düşük maliyetli veri aktarımı sağlayarak maden ortamında sağlam bir iletişim altyapısı oluşturma potansiyeline sahiptir. Stoicuta ve Sunitiyoso, (2023) yaptıkları çalışmada, VLC teknolojisinin yeraltı kömür madenlerinde güvenli bir şekilde uygulanması incelenmiştir. Madenlerde metan gazı (CH4) patlaması, ciddi can kayıplarına ve büyük maddi hasarlara yol açan başlıca kazalardan biridir. ATEX 2014/34/EU direktifi kapsamında, patlayıcı ortamlar için güvenli ekipman ve koruyucu sistemler geliştirilmesi gerekmektedir. Bu amaca dönük olarak, yapılan çalışmada VLC teknolojisini entegre eden yeni bir madenci baş lambası tasarlanmıştır. Bu lamba, yeraltı galerilerini aydınlatmanın yanı sıra CH4 gaz konsantrasyonlarını ölçme işlevine sahiptir. Ölçülen veriler, VLC/Bluetooth teknolojisi ile kablosuz olarak yeraltı iletişim ağına aktarılmaktadır. Veriler ayrıca SD kartta saklanarak, madencinin çalışma süresi sonunda yüzeydeki istasyonda analiz edilmektedir. Lamba, tehlikeli CH4 seviyelerinde optik ve akustik uyarılar vererek madencileri

riskler hakkında bilgilendirmektedir. Önerilen sistem, VLC/Bluetooth/RF tabanlı hibrit bir atmosferik izleme teknolojisi kullanmaktadır. PLC üzerine kurulan yıldız topolojili ağ ile veriler optik fiber üzerinden yüzeye iletilmektedir. MODBUS RTU protokolü sayesinde PLC'ler ve sensörler arasında etkin haberleşme sağlanmaktadır. Ayrıca, MX40 PLC'ler ve BM25 bölgesel cihazlar RF ağı üzerinden iletişim kurmaktadır. Çalışma ile Jiu Vadisi'ndeki madenlerde mevcut çevresel izleme sistemleri incelenerek, gelecekteki araştırmalarda yeni ağ topolojileri ve kablosuz iletişim teknolojilerinin kullanılması önerilmektedir. Özellikle VLC/LiFi ile patlayıcı ortamlara uygun, güvenli kablosuz veri iletimi sağlanması önemli bir yenilik olarak değerlendirilmiştir.

Khakshour vd., (2024) İran da, cevher çıkarma sektöründeki RFID uygulamasını incelemek üzere çalışmalar yapmışlardır. RFID'nin madencilik endüstrisinde kullanımı, madencileri ve ekipmanı takip etmeyi, kişisel koruyucu ekipmanı (KKE) yönetmeyi, erişimi ve işçi güvenliğini kontrol etmeyi, malzemeleri ve tedarik zincirini yönetmeyi, çevresel koşulları ve maden durumunu izlemeyi ve patlayıcıları takip etmeyi içerir. Bu pratik özellikler göz önüne alındığında, İran'ın madenlerinde, özellikle de çeşitli olaylara eğilimli kömür madenlerinde RFID teknolojisinin uygulanması, acil bir durum sırasında personelin izlenmesine yardımcı olabilir, kurtarma ekiplerinin sahaya hızla sevk edilmesini sağlayabilir ve kayıpları önemli ölçüde azaltabilir. RFID teknolojisi, madencilik operasyonlarını dönüştürmedeki benzersiz yetenekleri nedeniyle son zamanlarda birçok madencilik şirketi tarafından benimsenmiştir. Bu teknoloji madencilik sektöründe bir iletişim devrimine yol açmıştır. Bu makale, cevher çıkarma sektöründe RFID uygulamasını incelemekte ve RFID sistemlerine ilişkin içgörüler sunarak İran'ın madencilik endüstrisinde kritik bir bileşen olma potansiyellerini vurgulamaktadır.

Yeraltında personel takip sistemleri hakkında yapılan çalışmalar Çizelge 1'de listelenmiştir.

Çizelge 1. Yeraltında personel takip sistemleri hakkında yapılan çalışmalar

Stoicuta ve Sunitiyoso, (2023)	VLC teknolojisi ile metan gazı (CH_4) ölçümü
Purple Rock Inc., (2018)	WiFi, RFID, LTE ve fiber optik gibi teknolojiler hakkında bilgi
Misra vd., (2009)	elektromanyetik dalgaların yayılımını doğrudan etkileyerek iletişim performansını düşürmektedir. Çalışmada kablolu iletişim (TTW), hava yoluyla iletişim (TTA) ve toprak aracılığıyla iletişim (TTE) Yeraltı iletişim yolları
Setiawan (2012)	RFID ve Wi-Fi tabanlı konum takibi
Iturralde vd., (2014)	LED ışıkları ve üçgenleme (trilateration) tekniğini kullanarak, madencileri ve ekipmanları takip etmey
Zhen vd., (2019)	karma tam sayılı doğrusal programlama
Sunderman, (2023)	Aktif RFID, Zone-based ve Reverse RFID, Wi-Fi ve Zigbee tabanlı ağlar. A
Wang, Cao ve Zhou (2018)	
Gök, (2018)	Kablosuz ağ altyapısı kurulmuş ve parmak izi yöntemi
Centeno vd., (2018)	RFID
Karaca, (2010)	RFID sistemi, okuyucu ve elektronik etiket olmak üzere iki temel
Kaygısız	RFID ile gelişmiş personel takip sisteminde, ESP8266 donanımı kullanılarak
Şalap	SQL tabanlı sorgu aracı ise büyük veri kümelerinin işlenmesini ve analiz edilmesini destekleyerek karar alma süreçlerini güçlendirmektedir. Güvenlik açısından, acil çıkış analizleri Dijkstra algoritmasına dayalı olarak geliştirilmiş
Er, (2019)	RFID (Aktif ve Pasif RFID), RSSI (Sinyal Gücü Tabanlı Konumlandırma) ve UWB (Ultra Geniş Bant)
Sökmen, (2016)	RFID ve RSSI gibi teknolojiler

Zhang vd., (2009)	WiFi teknolojisine dayalı bir yeraltı madeni konum takip sistemi tasarımını
Lu ve Li (2011)	Sistem güvenliği mühendisliği teorisine dayalı bir tehlike denetim ve kontrol yöntemi
Wang vd., (2016)	Kazaların çoğunun yetersiz güvenlik yönetiminden kaynaklandığı ve gizli tehlikelerin derhal çözülmediği tespit edilmiştir. Bu nedenle, Çin'deki kömür madeni güvenlik yönetimindeki boşluklar, makro, mezo ve mikro perspektiflerden incelenmiştir.
Zhang (2016)	ZigBee'nin düşük güç tüketimi (sadece 1mW) ve 65.000 cihaza kadar bağlantı kapasitesi sayesinde, birden fazla madencinin sistemden eşzamanlı olarak faydalanabilmesi sağlanmıştır. Sistemi daha güvenli hale getirmek adına MQ-2 gaz sensörü ve sıcaklık sensörü eklenmiştir
Ngwenyama vd., (2023)	Kayıp kişi bulma sistemleri ve yeraltı iletişim sistemleri hakkında derleme
Dan vd., (2016)	Yaptıkları çalışmada, yeraltı kömür madeninde akıllı izleme sistemlerden olan ZigBee kablosuz sensör ağı tabanlı tasarımını geliştirmişlerdir
Fink ve Beikirch (2015)	Yılında yeraltı kömür madenciliğinde personel takip sistemleri üzerine yaptıkları çalışmada, GPS teknolojisinin kapalı alanlarda sınırlı kullanımı nedeniyle, radyo sinyali gücü (RSS) ölçümlerine dayalı takip sistemleri geliştirilmiştir. MineLoc
Agioutantis vd., (2014)	Yeni bir veri yönetim sistemi geliştirilmişlerdir. Geliştirilen sistem, birden fazla proje ve projeye bağlı farklı sensör setlerini destekleyebilecek şekilde tasarlanmıştır
Sabu vd.,	Ultra Geniş Bant (UWB) tabanlı bir kablosuz sensör ağı yeraltı madenlerinde güvenliğin artırılması ve takibin geliştirilmesi
Çavur (2018)	Radyo Frekans (RFID) protokolü ve arayüzü, açık kaynak kodlu bir Bilgi Sistemleri (BS) yazılımına entegre edilmiştir. RFID'nin açık kaynak kodlu bir yazılıma entegrasyonu için “Tight Entegrasyon” uygulamamsı
Cavur ve Demir (2022)	Yeraltı madenciliğinde gerçek zamanlı konum takibini sağlamak amacıyla RFID teknolojisiyle geliştirilen RSSI tabanlı hibrit bir algoritma incelenmiş
Patri vd., (2013)	RFID, WiFi ve UWB gibi teknolojiler üzerine derleme

Han, (2012)	RFID ve CAN teknolojileri kullanılarak yeraltı madenlerinde personel takibini sağlamak için bir sistem geliştirilmiştir
Centeno vd.,	RFID'nin malzeme lojistiği, personel konumlandırma, acil durum tahliye ve kurtarma operasyonları,

4. SONUÇ

Bu çalışma yeraltında güvenli çalışma koşullarının oluşturulması için yapılan çalışmaları ve uygulamaları ortaya koymaktadır. Bahsedilen güvenlik sistemleri çoğu yerde tek başına değil birkaç sistemin birlike olduğu karma şekilde uygulanmaktadır. Her sistemin avantajı olduğu gibi diğerlerine göre bazı dezavantajları da bulunmaktadır. Yeraltı çalışma sistemleri ve kullanılan ekipman dikkate alındığında bir yerde iyi sonuç veren sistemler başka bir yerde aynı derecede iyi sonuçlar veremeyebilmektedir. Bu nedenle tüm parametreler dikkate alınarak, temin kolaylığı ve kullanımı için gerekli bilgi ve ekipman da birlikte düşünülerek, birden fazla sistemin birlikte kullanılması güvenlik seviyesini artıracaktır.

GPS sistemlerinin kapalı alanlarda işlev gösterememesi, yer altı çalışmalarında iletişimin sağlanabilmesi amacıyla RFID (Radyo Frekansı ile Tanımlama) teknolojisinin geliştirilmesini ve kullanımını zorunlu kılmıştır. Günümüzde, yapay zekâ sistemlerinin hızla gelişmesiyle birlikte bu teknolojiler RFID gibi mevcut sistemlerle entegre edilerek daha hızlı, güvenilir ve etkili sonuçlar elde edilmesi mümkün hâle gelmiştir. Ayrıca yapay zekânın, büyük veri kümeleri üzerinde etkin analizler gerçekleştirme kapasitesi sayesinde süreç iyileştirme, karar destek sistemleri ve otomasyon uygulamalarında önemli katkılar sağlayacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR

Agioutantis, Z., Luxbacher, K., Karmis, M., & Schafrik, S. (2014). Development of an atmospheric data-management system for underground coal mines. Journal of the Southern African Institute of Mining and Metallurgy, 114(12), 1059-1063.

Bakır, Ş. (2019). RFID ile gelişmiş personel takip sistemi (Master's thesis, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Cavur, M., & Demir, E. (2022). RSSI-based hybrid algorithm for real-time tracking in underground mining by using RFID technology. Physical Communication, 55, 101863.

Cheng, J., Yang, L., Li, Y., & Zhang, W. (2014). Seamless outdoor/indoor navigation with WIFI/GPS aided low cost Inertial Navigation System. Physical Communication, 13, 31-43.

Ferreira Centeno, J. P., Navarro Torres, V. F., & Silveira, L. (2018). Tecnología de Identificación por Radio Frecuencia (RFID) aplicada en minería subterránea. Revısta De Medıo Ambıente Mınero Y Mınería, 59.

Fink, A., & Beikirch, H. (2015). MineLoc—Personnel tracking system for longwall coal mining sites. IFAC-PapersOnLine, 48(10), 215-221.

Gao, D., Li, W., & Dai, K. (2016, March). Design of coal mine intelligent monitoring system based on ZigBee wireless sensor network. In International Conference on Mechanics, Materials and Structural Engineering (ICMMSE 2016) (pp. 182-187). Atlantis Press.

García-Catalá, M. T., Rodriguez-Sánchez, M. C., & Martín-Barroso, E. (2022). Survey of indoor location technologies and wayfinding systems for users with cognitive disabilities in emergencies. Behaviour & Information Technology, 41(4), 879-903.

Gezici, S. (2008). A survey on wireless position estimation. Wireless personal communications, 44, 263-282.

Gök, İ., (2020). Yeraltı Madenciliği Takip ve İzleme Sistemi Otomasyonu, (Master's thesis, Bilgisayar Mühendisliği Anabilim Dalı, Fen Bilimleri Enstitüsü).

Iturralde, D., Azurdia-Meza, C., Krommenacker, N., Soto, I., Ghassemlooy, Z., & Becerra, N. (2014, July). A new location system for an underground mining environment using visible light communications. In 2014 9th International Symposium on Communication Systems, Networks & Digital Sign (CSNDSP) (pp. 1165-1169). IEEE.

Karaca, S. (2010). RFID teknolojisi ile anlık personel takip sistemi (Master's thesis, Maltepe University (Turkey).

Kaygısız, H. (2012). Web tabanlı RFID personel takip sistemi (Master's thesis, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü).

Kriz, P., Maly, F., Kozel, T.(2016). Low energy beacons, Mob. Inf. Syst. 2016.

Li, B., Zhao, K., Saydam, S., Rizos, C., Wang, Q., & Wang, J. (2018). Positioning technologies for underground mines, Far East J. Electron. Commun. 18871–893, http://dx.doi.org/10.17654/ec018060871.

Li Bai-ping; Shang Liang; Li Wen-feng; Chen Lei, (Dec. 2008) "Research on Coal Mine Personnel Orientation Rescuing System Based on RFID," MultiMedia and Information Technology, 2008. MMIT '08. International Conference on , vol., no., pp.555,557, 30-31

Medina, C., Segura, J. C., & De la Torre, A. (2013). Ultrasound indoor positioning system based on a low-power wireless sensor network providing sub-centimeter accuracy. Sensors, 13(3), 3501-3526.

NIOSH. (2011, December). Medium Frequency Mine Emergency Communications - An Emerging Technology. Milestones in Mining Safety and Health Technology .

NIOSH. (2011, September). Reverse Implementation of Radio Frequency Identification (RFID) Technology for Personal Tracking in Underground Mines.

Patri, A., Nayak, A., & Jayanthu, S. (2013). Wireless communication systems for underground mines–a critical appraisal. International Journal of Engineering Trendsand Technology, 4(7), 3149-3153.

Şalap, S. (2008). Development of a GIS-based monitoring and management system for underground mining safety (Master's thesis, Middle East Technical University (Turkey)).

TMMO, (2021). Madencilikte Yaşanan İş Kazaları Raporu 2010 2020

Zhang, Y., Li, L., & Zhang, Y. (2009, December). Research and design of location tracking system used in underground mine based on WiFi technology. In 2009 International Forum on Computer Science-Technology and Applications (Vol. 3, pp. 417-419). IEEE.

Zhang, X. (2016). Smart Sensor and Tracking System for Underground Mining (Doctoral dissertation, University of Saskatchewan).

Zhen, L., Wang, B., Li, M., Wang, W., & Huang, L. (2019). Inspection routing problem for coal mine safety personnel in underground mines. Computers & Industrial Engineering, 130, 526-536.

Zhou, M., Lin, Y., Zhao, N., Jiang, Q., Yang, X., & Tian, Z. (2020). Indoor WLAN intelligent target intrusion sensing using ray-aided generative adversarial network. IEEE Transactions on Emerging Topics in Computational Intelligence, 4(1), 61-73.

WEB 1, 2025. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.rfsworld.com/userfiles/pdf/coal_age_reprint_jan08.pdf