

Yeraltı Madencilğinde Arazi Kontrolü ve Uygulamaları

Ground Control and Application in Underground Mining

C. A. Öztürk^{1*}, D. Aslan², E. Doğan²

¹ *İstanbul Teknik Üniversitesi, Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü*

² *Eczacıbaşı Esan AŞ, Balya Yeraltı Kurşun-Çinko Maden İşletmesi*

* Sorumlu Yazar: atilla.ozturk@itu.edu.tr

Özet

Ülkemizde madencilik son 15 yıldır yükselen bir ivme ile ülke ekonomisine katkısını artırmaktadır. Bu durum, çok derin maden sahalarından üretim gerektiren yüksek üretim hedeflerine olan talebi artırmaktadır. Artan üretim hedefleri, aynı anda birden fazla üretim yerinde çalışmayı gerektirirken, madencilik için derin olarak sınıflandırılan bölgelerde çalışmak, hidrostatik ortam koşullarında doğayla mücadele etmeyi mecbur kılmaktadır. Madencilikte yaralanmalı ve ölümlü kazaların yarısı, taş düşmesi, kaya patlaması ve göçük olaylarından kaynaklanmaktadır. Bu olayların en önemli sebebiyse uygun olmayan ve/veya zamanında yerleştirilmeyen tahkimat uygulamalarıdır. Arazi kontrolü, yeraltı açıklıklarında uygulanacak tahkimat sistemlerinin tasarımıyla başlayıp, uygulama sırasında ve sonrasında tahkimat sisteminin yeterliliğinin araştırılmasıyla devam eder. Tahkimat sistemlerinin saha performanslarının yetersizliğinin tespit edilmesi durumunda, jeoteknik veri, tasarım çalışmaları ve saha uygulamalarında revizyonlar yapılması ile sorunların önüne geçilmeye çalışılır. Açıklıklarda meydana gelebilecek olası sorunların önüne geçilmesinde, deformasyon ölçümü, mikro-sismik olayların tespiti gibi bir dizi arazi çalışmasına ve bunların arazi kontrolü kapsamında değerlendirilmesine ihtiyaç vardır. Bu çalışmada, Esan'a ait Balya yeraltı kurşun-çinko madeni işletmesinde yeraltı açıklıklarının tahkimatı ve arazi kontrolü kapsamında yapılan çalışmalar sunulmuştur. Yapılan çalışmalar, maden işletmelerinde tesis edilecek kaya mekaniği birimi çatısı altında arazi kontrolü işlerinin yerine getirilmesinin önemini göstermektedir. Bu çalışmanın önemli çıktılarından biri de kaya mekaniği biriminin çalışma prensiplerinin standartlaştırılması için ilk adımların atılmasıdır.

Anahtar Kelimeler: Arazi kontrolü, Kaya mekaniği, Tahkimat, Yeraltı madeni

Abstract

Mining in our country has been increasing its contribution to the country's economy with an accelerating trend in the last 15 years. This increases demand for high production targets that causes deeper underground production. Increasing production targets require working at more than one production site at the same time, added to that working in areas classified as deep for mining compels to combat nature under hydrostatic environment conditions. Half of injuries and fatal accidents in mining are due to collapse, spalling, rock burst or similar events. The most important reason for these events is the improper and/or late application of support systems. Ground control begins with the design of the support systems to be applied in underground openings and continues with the investigation of the adequacy of the support system during and after the application. In case of insufficient field performance of support systems, problems are tried to be prevented by retrospective analyses in geotechnical data, design studi-

es and field applications. In order to prevent possible problems that may occur in underground openings, a series of site works such as deformation, micro-seismic event measurements, and evaluation of these in ground control are needed. In this study, the works carried out within the scope of the support design and ground control of underground openings in the Balya underground lead-zinc mine enterprise of Esan are presented. The studies show the importance of performing ground control works carried out in rock mechanics department to be organized in mining enterprises. One of the important outputs of this study is to take the initial steps to standardize the working principles of the rock mechanics unit.

Keywords: *Ground control, Rock mechanics, Support, Underground mine*

1. Giriş

Arazi kontrolü; yeraltı açıklıklarının, tahkimat tasarımlarıyla başlayan ve saha uygulamalarına ait tahkimatin başarısını denetleyen ve ihtiyaç olması halinde geri dönük analizlerin gerçekleştirilmesiyle stabil ve sürdürülebilir uygulamaların hayata geçirilmesini hedeflemektedir. Tahkimat tasarımı üç boyutlu kompleks bileşenlerden oluşan bir çözümlenme sürecidir. Bileşenlerin doğru olarak elde edilmesi, uygun analiz teknikleri ile değerlendirilmesi, çözümlerin olası koşullara göre simülasyonlarının üretilmesi tahkimat tasarımlarının başarısı için önemli aşamalarıdır Feng ve Hudson (2008). Tahkimat tasarımının özetle en önemli aşamaları, jeoteknik veri elde edilmesi, verinin analitik çözümlerde kullanılması ve tahkimat tasarımlarının yapılması ve tasarımın çıktılarının nümerik yöntemler ile test edilerek yeterliliklerinin araştırılmasıdır.

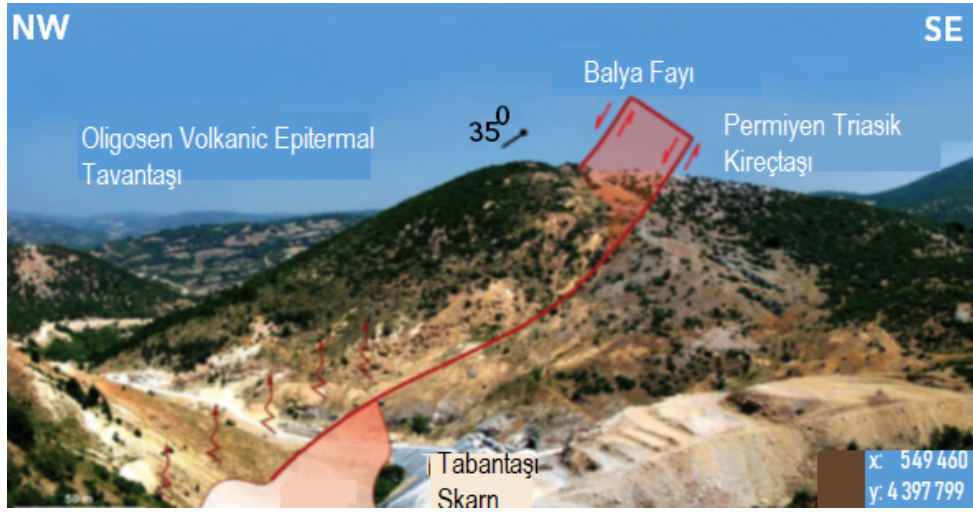
Jeoteknik veri, kaya kütle ortamlarında kayaç malzemeleri ve süreksizliklerin sayısallaştırılması işlemidir. Yapı malzemesi olarak düşünüldüğünde kaya kütlesi, çelik, ahşap, beton ve benzeri yapı malzemelerinden farklılıklar arz etmektedir. Bu tip malzemelerde dayanım özellikleri belirleyici olurken, kaya kütlelerinde çeşitli sınıflamalar, karakterizasyonlar ve sayısallaştırılmış tecrübeler geçerlidir. Ancak nihai olarak, kaya kütlesi içinde uygunluk ve kalite kriterleri kütlenin dayanım özellikleri tarafından sınırlandırılır (Palmström, 1995). Bunun yanında kaya kütlelerini diğer yapı malzemelerinden ayıran en önemli özellik ve zorluk jeolojik durumların ve jeoteknik parametrelerin belirsizliğidir (Einstein ve Baecher, 1982). Yapı malzemesi olarak kullanılacak olan kaya kütlelerinin dayanım özelliklerinin ve buna bağlı olarak, dayanım üzerinde etkili olan parametrelerin güvenilir bir şekilde tespit edilip yorumlanması son derece büyük önem arz etmektedir. Süreksizliklerin yoğun olduğu bir sistemde stabiliteyi kontrol eden süreksizlik özellikleri olurken, süreksizliklerin az olduğu veya sayılamayacak kadar çok olduğu ortamlarda stabiliteyi kayaç malzemesinin fiziksel ve mekanik özellikleri kontrol etmektedir. Jeoteknik veri tabanı oluşturulurken, kayaç malzemelerinin dayanım özellikleri ve süreksizliklerin geometrik ve yapısal unsurları temin edilmelidir. Kayaç malzemelerin dayanım özellikleri genellikle tek eksenli basınç dayanımı veya nokta yük dayanımı ile temsil edilir. Hudson (1989) tarafından özet olarak aktarılan süreksizliklerin özellikleri ise arazi gözlem ve ölçümleri ile detaylandırılır.

Balya yeraltı kurşun-çinko madeni işletmesi, ülkemizin bugün itibariyle en derin ve en yüksek kapasiteye sahip yeraltı metal madenidir. Madende üretim yönetim olarak kes doldur yeraltı üretim yöntemiyle gerçekleştirilmekte olup, yıllık 1.50 milyon tona veren üretim hedefini tutturmak için günde ortalama 15 üretim aynasında ilerleme yapılmasına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu durum, sahada arazi kontrolü kapsamında çok iyi organize olmuş bir çalışmayı gerekli kılmaktadır. Bu çalışmada, jeoteknik veri teminiyle başlayan ve arazi gözlem ve ölçümleriyle devam eden çalışmalara ait bilgiler paylaşılmıştır.

2. Balya Yeraltı Maden İşletmesi

Balya yeraltı kurşun-çinko maden işletmesi 2009 yılından itibaren Eczacıbaşı Esan A.Ş tarafından işletilmektedir. Üretimi gerçekleştirilen cevher, bölgede tesis edilmiş cevher hazırlama tesisinde işlenerek nihai ürün yurt dışı piyasada satılmaktadır.

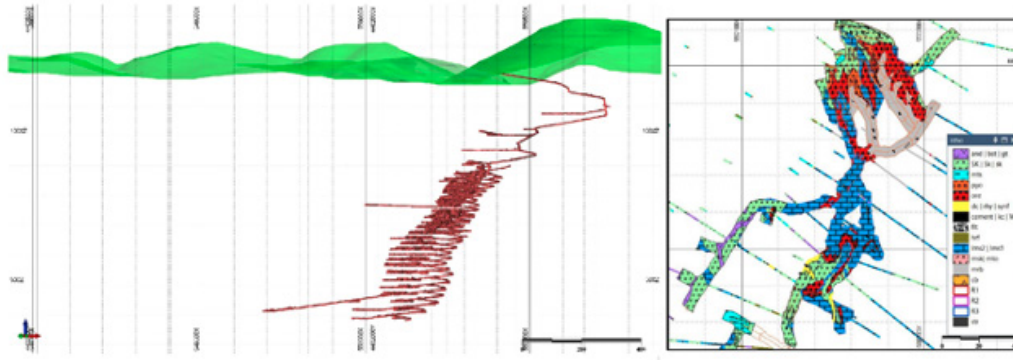
Ana kayası kireçtaşı olan horst ve graben yapıları ile maden bölgesinin jeolojisi temsil edilmektedir. Balya fayı normal atımlı bir fay olup, kuzey Anadolu fayıyla ilişkilidir (Şekil 1). Fay boyunca dasidik ve granodiyoritik sokulumlar skarn gelişiminde rol oynamaktadır. Kurşun ve çinko cevherleşmesi yapısal olarak kontrol edilmekte ve özellikle Balya fayı etrafındaki bu sokulumlardaki skarn yapılarıyla birlikte görülmektedir (Akbaşram ve ark., 2013, Okay, 1989).



Şekil 1. Bölgenin fotoğrafı üzerinde Balya fayı ve jeolojik birimler.

Maden kes doldur yeraltı üretim yöntemiyle işletilmekte olup, galerilerde üretim delme ve patlatmayla gerçekleştirilmektedir. Delme ve patlatma işlemini kavlakların alınması takip etmektedir. Patlatma sonucu ortaya çıkan cevher veya pasa kamyonlarla yeryüzüne nakledilirken açılan boşluk püskürtme beton ve kaya saplamalarıyla tahkim edilmektedir.

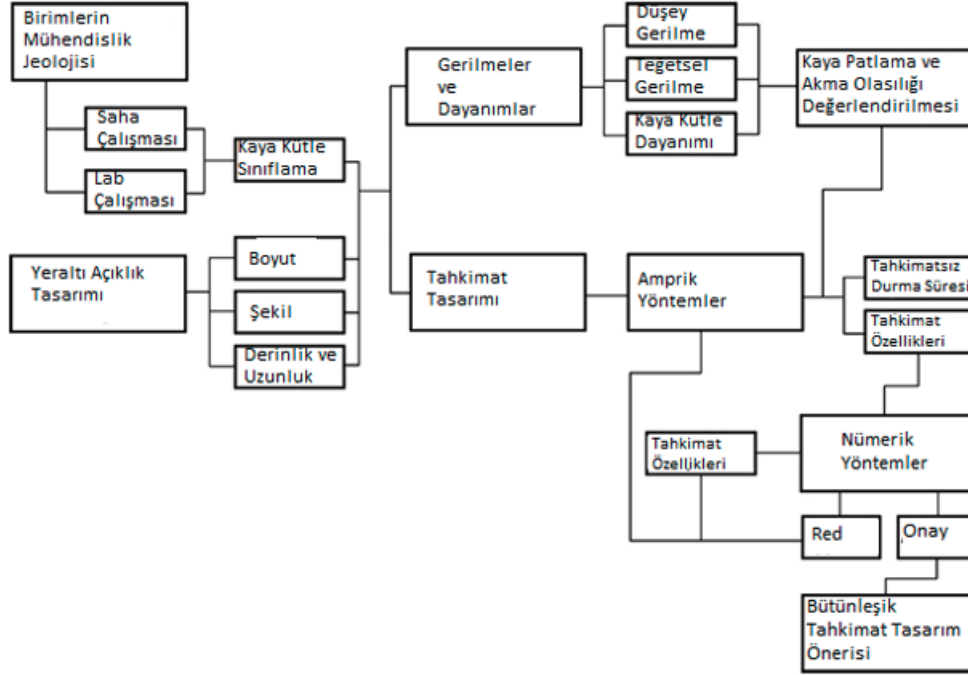
Yeraltının kompleks jeolojik yapısından dolayı, madende çok farklı jeolojik malzemelerle çalışılmaktadır. Şekil 2'de madenin mevcut görünümü ve bir kesit görünümü, yeraltı yapısının büyük ve karmaşık yapısını göstermektedir.



Şekil 2. Maden işletmesinin a) mevcut görünümü ve b) örnek bir kat planı.

3. Yeraltı Açıklıklarının Tahkimatı ve Arazi Kontrolü

Bütünleşik tahkimat tasarımı, açıklıklarda uygulanması gerekli tahkimat sistemlerinin analitik yolla tayiniyle başlayıp, tahkimat ekipmanlarının mühendislik özelliklerinin tespiti ve açıklıklardaki deformasyonların kestirimi için gerçekleştirilen nümerik çözümleriyle devam etmektedir. Öztürk (2013) yapmış olduğu çalışmada, tahkimat tasarımında kullanılmasını önerdiği bütünleşik tasarım ilkelerini madencilik sektörü için uygulamalı olarak ortaya çıkarmıştır (Şekil 3).



Şekil 3. Bütünleşik tahkimat tasarımı uygulama prosedürü.

3.1. Jeoteknik Veri

Prosedürden de görüleceği üzere, açıklıklarda stabil bir şekilde hizmet verebilecek tahkimat sisteminin seçiminin temelini güvenilir bir jeoteknik veri tabanı oluşturmaktadır. Jeoteknik veri tabanı, kayaç malzemeleri ve süreksizliklerden oluşan kaya kütlelerinin sayısallaştırılması için bir dizi saha çalışmasını kapsamaktadır. Kayaç malzemelerinin mekanik ve fiziksel özellikleri özellikle nümerik analiz uygulamalarında açıklıklar etrafında oluşan deformasyon ve gerilmelerin tespitinde kullanılır. Bu amaca yönelik olarak maden işletmesinde kazı faaliyetleri sırasında geçilen kaya ve zemin birimlerinin, tek eksenli basınç dayanımı, elastik modül, Poisson oranı, Brazilian indirekt çekme dayanımı, kohezyon, içsel sürtünme açısı ve birim hacim ağırlığı özellikleri tayin edilir. Bu özellikler her bir kaya birimi için tayin edileceği gibi, aynı kaya birimlerinin değişen derinlikleri ve lokasyonları için de tekrarlanmalı ve böylece bölgesel farklılıklar ortaya çıkartılmalıdır.

Kaya kütle özelliklerinin sayısallaştırılması için, Barton ve ark. (1974) ve Bieniawski (1976, 1989) tarafından geliştirilen kaya kalite katsayısı (Q) ve kaya kütle puanı (RMR) kullanılabilir. Kaya kütle özelliklerinin sayısallaştırılması için Esan Balya yeraltı maden işletmesinde ayna haritalama formu kullanılmaktadır (Şekil 4-a). Bu form sayesinde, kaya kütlelerinin sınıflandırılmasında kullanılan süreksizlik özelliklerine ait veriler her bir ayna ilerlemesinde araziden toplanır ve böylece her bir kazı işleminden sonra karşılaşılan aynanın kaya kütle özellikleri sayısallaştırılmış olunur.

3.2. Tahkimat Tasarımı

Analitik yolla tahkimat tasarımı için, Barton ve ark. (1974) tarafından geliştirilen ve en son Norveç Jeoteknik Enstitüsü tarafından güncellenmiş formuyla kaya tahkimat abağı ve tahkimat sınıfları kullanılmaktadır (NGI, 2015) (Şekil 4-b).

Bu abakta kullanılan Q değeri, kaya kalite katsayısı (RQD), çatlak takım sayısı (Jn), çatlak pürüzlülük katsayısı (Jr), çatlak alterasyon katsayısı (Ja), çatlak su azaltma faktörü (Jw) ve gerilim azaltma faktöründen (SRF) oluşmaktadır (Eş. 1). Eşdeğer boyut (De) ise en büyük açıklık değerinin kazı tahkimat oranına (ESR) bölümünden elde edilir (Eş. 2). Mevcut uygulamada daha ziyade tüneller için başarılı sonuçlar içeren ESR kabulleri, maden işletmeleri için yeraltı açıklıklarının hizmet süresi ve Q değerine bağlı olarak seçimin yapıldığı modifiye edilmiş bir tablo kullanılmaktadır (Tablo 1).

a) FACE MAPPING FORM

FORM NO : 03.03.2018
DÜZ.TAR. : 03.03.2018
REVZ.TARANI:

Date Shift Face ID Person Opening Orientation

Sol duvar Ayna Sağ duvar

Rock Mass Definition

Geological Structures

No	Tip	Eğ.Yönü	Doğrultu	Aralık	Açıklık (mm) & Dolgu
Pürüzlü	Pürüzsüz	Çukuk	a b c d e	f g h i j k l m	<0,10 0,1-1,0 1,0-5,0 >5,0
Düz	Dalgış	Düz	Dalgış	Bozunma Derecesi	a b c d e

No	Tip	Eğ.Yönü	Doğrultu	Aralık	Açıklık (mm) & Dolgu
Pürüzlü	Pürüzsüz	Çukuk	a b c d e	f g h i j k l m	<0,10 0,1-1,0 1,0-5,0 >5,0
Düz	Dalgış	Düz	Dalgış	Bozunma Derecesi	a b c d e

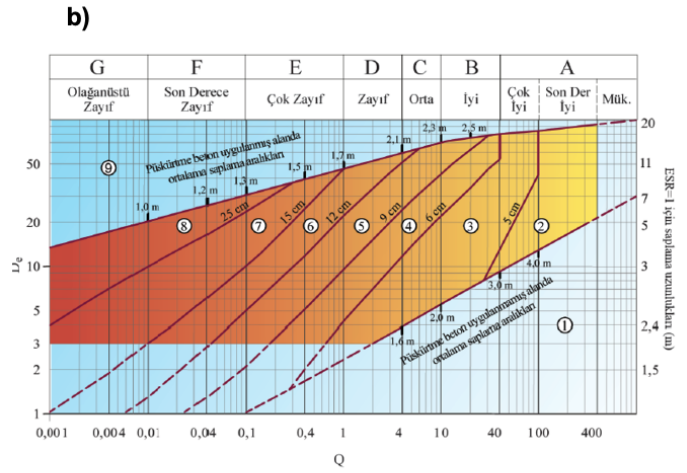
No	Tip	Eğ.Yönü	Doğrultu	Aralık	Açıklık (mm) & Dolgu
Pürüzlü	Pürüzsüz	Çukuk	a b c d e	f g h i j k l m	<0,10 0,1-1,0 1,0-5,0 >5,0
Düz	Dalgış	Düz	Dalgış	Bozunma Derecesi	a b c d e

Ore Type and Grade

Basınç Day.	R1	R2	R3	R4
ROD	<25	25-50	50-75	75-100
İSeyri	Mazif		Kırımlı Kaya	Jw (Katı)
Rassal	Yer	Yok	a (1)	b (0,66)
Su-Ortam	Kuru	Nemli	Yağ	Damlama Akış

Condition/Safety Face Layout Remark

--- Havalendirme
--- Zemin Isıgıları
--- İşaretler/Barutlar
--- Haberleşme
--- En yakın kaya yeri
--- Genel Düzey
R1 > R2 > R3



Sınıf	Tahkimat
1	Tahkimat gerekmez, özel durumlarda rassal kaya sızlamaları
2	Rassal kaya sızlamaları
3	Sistemik kaya sızlamaları, 50-60mm kalınlığında donatılı püskürtme beton
4	Sistemik kaya sızlamaları, 60-90mm kalınlığında donatılı püskürtme beton
5	Sistemik kaya sızlamaları, 90-120mm kalınlığında donatılı püskürtme beton
6	Sistemik kaya sızlamaları, 120-150mm kalınlığında donatılı püskürtme beton, güçlendirilmiş beton kaplama
7	Sistemik kaya sızlamaları, >150mm kalınlığında donatılı püskürtme beton, güçlendirilmiş beton kaplama
8	Sistemik kaya sızlamaları, 50-90mm kalınlığında liflerle güçlendirilmiş beton
9	Betonarme tahkimat
10	Özel değerlendirme gerektirir

Şekil 4. a) Yeraltı maden işletmesinde kullanılan jeoteknik ayna haritalama formu

b) kaya tahkimat abağı ve tahkimat kategorileri (NGI, 2015).

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (1)$$

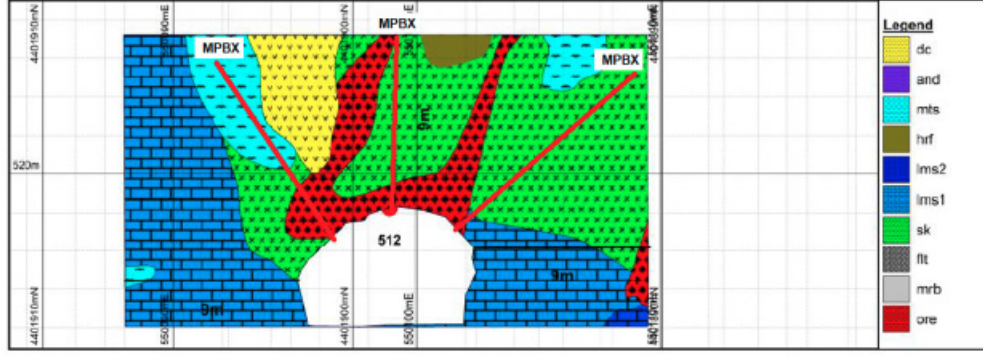
$$D_e = \frac{\text{Excavation span in m}}{\text{Excavation Support Ratio, ESR}} \quad (2)$$

Tablo 1. Yeraltı maden işletmeleri için önerilen ESR değerleri.

Sr#	Tanımlama	ESR
1	Birincil Açıklıklar Maden işletmesine 24 ay veya daha fazla hizmet veren açıklıklar	1.3
2	İkincil Açıklıklar Maden işletmesine 6 ay veya daha fazla hizmet veren açıklıklar	1.6
3	Kısa Süreli Açıklıklar Maden işletmesine 6 aydan daha az hizmet veren açıklıklar	3.0
4	Birincil Açıklıklar Q değerinin 0.1 veya daha düşük olduğu açıklıklar	1.0
5	Dik Kuyular	2.0

3.3. Saha Uygulamaları ve Arazi Kontrolü

Jeoteknik veri ve analitik çözüme dayalı tahkimat tasarımlarından sonra saha uygulamalarına geçilir. Maden işletmelerinin derinleşmesi yüksek üretim hedefleri, belirsizliklerin ve bu da hataların artmasına sebebiyet verebilir. Buna engel olmak için yeraltı açıklıklarında kullanılan tahkimat uygulamalarının başarısı denetlenmeli ve bu denetlemeler sonucunda elde edilen verilerden hareket ederek gerekli revizyonlar yapılmalıdır. Tahkimat uygulamalarının yeterlilikleri ve başarısının denetlenmesi için sahada yapılabilecek gözlem ve ölçümler farklılık arz etmektedir. Öncelikle sahada yapılacak rutin kontrollerle sorunlu bölgeler ve sorunlu imalatlar tespit edilmeli ve bu bölgelerde yenileme uygulamaları yapılmalıdır. Ancak asıl sorun gözlemlerle tespit edilemeyecek unsurların tayin edilmesidir. Bu amaca yönelik olarak Esan Balya yeraltı maden işletmesinde çok noktalı ekstansiyometrelerin (MPBX) yardımıyla açıklıkları çevreleyen kaya kütlelerindeki deformasyonların ölçülmesi yoluna gidilmektedir. MPBX'lerin yerleştirileceği lokasyonlar, sayıları ve uzunlukları açıklığın lokasyonuna, çevreleyen kaya kütle birimlerinin durumuna ve açıklığın hizmet süresine göre tayin edilmektedir. Şekil 5'de işletmenin 512 doğu kavşağında uygulanması için tasarımılandırılan MPBX'lerin konumları görülmektedir. MPBX'ler özellikle stabilite açısından sorunlu olduğu düşünülen veya işletme için kritik olarak değerlendirilebilecek imalat bölgelerine tesis edilmektedir. Toplamda bugün itibarıyla 70 km'yi bulan yeraltı açıklıklarına belirli bir sistematikte deformasyon ölçerlerle donatmak ekonomik olarak mümkün olmadığı gibi teknik anlamda da ölçülebilir olamamaktadır. Maden işletmesinde bir noktada üç farklı seviyede ölçüm yapabilen (3-6-9 m) MPBX'ler kullanılmaktadır. MPBX'lerden alınan deformasyon değerleri anlık olarak takip edilmekte ve ait deformasyon değişimleri çevrim içi bir sistemde sürekli olarak kaya mekaniği departmanına aktarılmaktadır.



Şekil 5. 512 Doğu kavşağında MPBX uygulamaları.

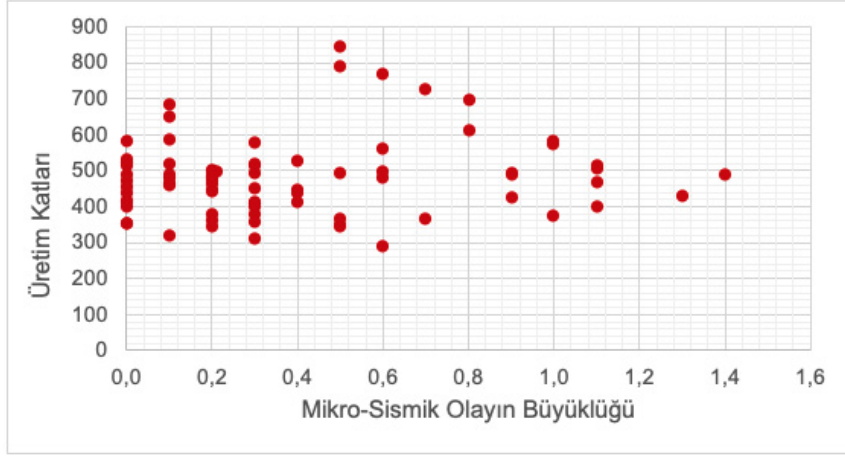
Deformasyon ölçerler, açıklıklarda gözle görülemeyecek deformasyonları tespit etmeleri, açıklığın üstünde tahkimat tarafından taşınan kütlelerin tespit edilmesi gibi hususlarda son derece önemli bilgiler sunmaktadır. Ancak deformasyon ölçerler sadece yerleştirildikleri noktalarla ilgili bilgi vermekte ve bu bölgelerin dışıyla ilgili fikir sahibi olunmasına imkan sağlamamaktadır. Bu amaca yönelik olarak Balya yeraltı maden işletmesinde mikro-sismik hareketlerin ölçümü için bir ölçüm ağı kurulmuştur. Üç adet üç eksenli, yedi adet tek eksenli jeofon ve izleme ağıyla işletmede madencilik faaliyetlerinden kaynaklı mikro-sismik olaylar kayıt altına alınmaktadır. Kaypak ve Aldaş (2012) tarafından da aktarıldığı üzere, mikro-sismik ölçümler gerilme değişimlerinin meydana geldiği lokasyonların tespiti ve riskli bölgelerin tayinine imkân vermesi ve tüm bunları düşük bütçeli yatırımlarla yapmaya imkan sağlaması açısından önemlidir.

Maden işletmesinde yaklaşık 1,5 yıldır devam eden ölçümler sonucunda, Richter ölçeğine göre büyüklüğü 0'dan büyük 2'den küçük olan 80'nin üzerinde olay tespit edilmiştir. Bu tespit günlük ortalama olay sayısını 0.20 olay/gün mertebesine getirmektedir. Bu değere göre işletme, mikro-sismik olaylar açısından yüksek oranda olayların meydana geldiği maden sınıfına girmektedir (Potvin ve Hudyma, 2001; Hudyma ve Potvin, 2004).

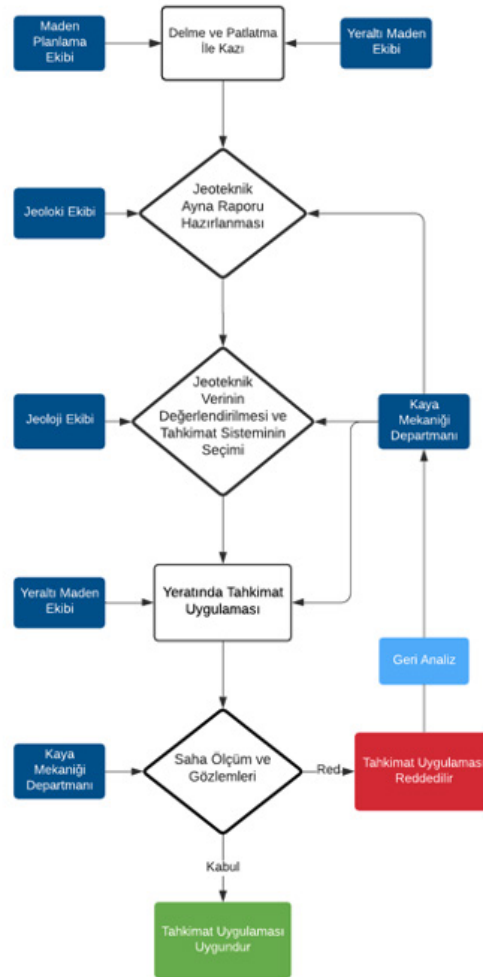
Maden işletmesinde yapılan ölçümler sonucunda, mikro-sismik olayların yoğun olduğu bölgeler tespit edilmiş ve bu bölgeler dinamik bölgeler olarak tanımlanmıştır. Bu bölgelerde yapılan tahkimat uygulamalarında, lifle güçlendirilmiş püskürtme betonun enerji tutma kapasitesinin en az 1000 J olması ve kavşaklarda ve sorunlu bölgelerde 2.4 m uzunluktaki split setlere ilave olarak 6 m uzunluğunda Mai boltların kullanılmasına başlanılmıştır. Bunun yanında yine kavşak ve sorunlu bölgelerde çelik hasırlarla da tahkimatın eğilme dayanımlarının ve bağlı olarak enerji absorb edebilme kapasitesinin artırılması yoluna gidilmektedir. Şekil 6'da büyüklüğü 0'dan yüksek olan mikro-sismik olayların üretim katlarına göre elde edilen saçılma diyagramı verilmiştir. Şekilden de görüleceği üzere, olayların en yoğun olduğu üretim katları 400 m ile 600 m arasındaki üretim katları olup, bu üretim katlarının yeryüzünden olan derinliği 600 ile 800 m arasında değişmektedir.

4. Tartışma ve Değerlendirmeler

Esan Balya yeraltı maden işletmesinde tahkimat tasarımı ve arazi kontrolü kapsamında gerçekleştirilen çalışmaların süreklilik arz etmesi ve sahadan toplanan verilerin maden işletmesinde kullanılabilir olması açısından tüm birimlerin birbirleriyle koordineli çalıştıkları bir organizasyon yapısı oluşturulmuştur (Şekil 7).



Şekil 6. Maden işletmesindeki mikro-sismik olayların katlar göre dağılımı.



Şekil 7. Maden işletmesinde arazi kontrolünün başarılı bir şekilde sürdürülebilirliğini sağlayan organizasyon şeması.

Organizasyon şemasından da görüleceği üzere, maden işletmesinde kazı aynasının maden ekibi tarafından imalata alınmasıyla birlikte, gerek jeoloji gerekse kaya mekaniği departmanı tarafından veriler toplanmakta ve saha uygulamalarının, kazının yapıldığı ortamın jeoteknik özelliklerine uygun bir şekilde tahkimatı yapılmaktadır. Bu aşamadan sonra arazi gözlem ve ölçüleriyle tahkimatın başarısı ve yeterliliği denetlenmekte ve toplanan verilere dayanarak tahkimat sisteminin revizyonuna veya tahkimat uygulamalarının ilave güçlendirilmesine karar verilmektedir. Bu yazının genel amacını içermediğinden dolayı detayları verilmeyen kalite kontrol uygulamalarıyla da saha uygulamaları sürekli denetlenmeye ve açıklıkların göçük olgularıyla karşılaşmadan hizmet vermeye devam etmesi sağlanmaktadır.

5. Sonuçlar

Esan Balya yeraltı maden işletmesi, ülkemizde çalışan en derin metal madeni olması ve en yüksek kapasite üretime ulaşmasından dolayı ülke madenciliği açısından son derece önemli bir yere sahiptir. Maden işletmesinde oluşturulan ve ilgili tüm birimlerin uyumuyla gerçekleştirilen organizasyon sayesinde, günde ortalama onbeş kazı aynasının patlatıldığı ve her birinin farklı maden ekipleriyle tahkim edildiği açıklıklar stabil bir şekilde herhangi bir sorunla karşılaşılma- dan hizmet vermeye devam etmektedir. Derinleşen maden işletmesi benzer araştırmaların tek- rar edilerek, yeni ve inovatif çözümlerle madenin sürekli kontrol ve gözlem altında tutulmasını zaruri kılmaktadır. Ülkemizin çok farklı bölgelerindeki benzer maden işletmelerinde de benzer uygulamalarla göçük ve benzeri kazalanmaların önüne geçilerek sürdürülebilir madencilik faa- liyetlerinin güvenilir çalışma ortamlarında geliştirilmesi önemlidir.

Kaynaklar

Akbayram, K., Okay, A.I., Satır, M., 2013. Early Cretaceous closure of the Intra-Pontide Ocean in western Pontides (northwestern Turkey). *Journal of Geodynamics*. 65: 38-55.

Barton, N., Lien, R., Lunde, J., 1974. Engineering classification of rock masses for the design of rock support. *Rock Mechanics*. 6,189-236.

Bieniawski, Z.T., 1976. Rock mass classification of jointed rock masses, In: *Exploration for Rock Engineering*, Balkema, Johannesburg, 97-106.

Bieniawski, Z.T., 1989. *Engineering rock mass classifications*. John Wiley & Sons, New York.

Einstein, H., Baecher, G. S., 1982. Probabilistic and statistical methods in engineering geology. *Problem statement and introduction to solution*. *Rock Mechanics*. 12, 47-61.

Feng, X.T., Hudson, J.A., 2008. Specifying the required information for rock engineering modelling and design. *Int. J Rock Mech Min Sci*. 47, 179-194.

Hudyma, M.R., Potvin, Y., 2004. Seismic hazard in Western Australian Mines. *Journal South African Institute of Mining and Metallurgy*. June, 265-276.

Hudson, J. A., 1989. *Rock mechanics principles in engineering practice*. CIRIA Ground Engi- neering report.

Kaypak, B., Aldaş, G.G.U., 2012. Mikrosismik izleme yöntemleri. *MT Bilimsel Yer Altı Kay- nakları Dergisi*, Ocak, 1-12.

Norwegian Geotechnical Institute, 2015. Using the Q-System, Rock Mass Classification and Support Design. NGI, Norway.

Okay, A.I., 1989. Tectonic units and sutures in the pontides, northern Turkey. In: Şengör A.M.C. (eds) Tectonic Evolution of the Tethyan Region. NATO ASI Series (Series C: Mathematical and Physical Sciences), vol 259, Springer, Dordrecht.

Öztürk, C.A., 2013. Support design of underground openings in an asphaltite mine. Tunnelling and Underground Space Technology. v. 38, s. 288-305.

Palmström, A., 1995. RMi – a rock mass characterization system for rock engineering purposes. Doktora Tezi, Oslo Uni., Norveç.

Potvin, Y., Hudyma, M.R., 2001. Seismic monitoring in highly mechanized hardrock mines in Canada and Australia. Proceedings of the 5th international symposium on rockburst and seismicity in mines; G. Van Aswegen, R. Durrheim, and D. Ortlepp, eds., Keynote. Johannesburg, 267–280.