

AŞIRI DEFORMASYONA MARUZ KALAN GALERİDE ÇOK KATMANLI TAHKİMAT SİSTEMİNİN UYGULANMASI

THE IMPLEMENTATION OF A MULTI-LAYER SUPPORT SYSTEM IN AN EXCESSIVELY DEFORMED ROADWAY

İ.F. Öge^{1,*}, R. Yazar², M.A. Yazar², A. Hür², Ş. Tarhan², M. Göle²

¹Muğla Sıtkı Koçman Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü
(*Sorumlu yazar: feridoge@mu.edu.tr)

²Demir Export-Fernas, Eynez Doğu Yeraltı İşletmesi

ÖZET

Yeraltı maden açıklıkları mühendislik normlarına göre mümkün olan en hafif tahkimat sistemleri ile açılır. Böylece uygun ilerleme hızları ve maliyet sağlanabilir. Eğer kaya yükleri ve tahkimat sistemleri arasındaki hassas denge bozulur ise tahkimat sistemleri deforme olabilir. Çalışmada deforme olan bir yeraltı açıklığının tamirat seçenekleri incelenmiş ve birkaç tahkimat sistemi karşılaştırılmıştır. Farklı dolgu seçenekleri kullanmanın mümkün olduğu çok katmanlı tahkimat sisteminin uygulanmasına karar verilmiştir. Sıkışabilir dolgu kullanımı ile çok kısa süre içerisinde deforme olma eğiliminde olan galeri, kıyasla çok daha uzun süre boyunca duraylı halde tutulabilmiştir. Çok katmanlı tahkimat sistemi geliştirmeye açık ve probleme göre değiştirilebilen bir yöntem olduğu görülmüş, çalışmanın yapıldığı işletmenin uygulama koşullarına özel geliştirilmiştir.

Anahtar Sözcükler: Tahkimat, çelik tahkimat, ramble, dolgu, çok katmanlı tahkimat sistemi

ABSTRACT

Underground mine openings are driven by installation of light supports as possible as engineering norms dictate. It is possible to ensure adequate advance rates and cost by employing such light support systems. If the delicate balance between the rock load and support capacity is unfavourably disturbed, the support systems may deform. In this study, the repair options for a deformed underground opening are examined and a few support systems are compared to each other. A multi-layer support system was decided to be used which enables the implementation of various backfill types. The roadway with a great tendency to deform within a short time interval, was kept stable for a comparably long period. It was observed that the multiple layer support system is open to improvement and adaptable to the different problems. However, the support system is developed for the specific operational conditions present in the mine.

Keywords: Ground support, steel support, backfill, multi-layer support system

GİRİŞ

Yeraltı madencilik faaliyetleri esnasında yeraltı açıklıklarında gözlemlenen duraysızlıklar, işletme faaliyetlerinde ciddi problemlere yol açabilmektedir. Yeraltı açıklıklarında oluşan deformasyonlar, açıklık kesitinin ciddi şekilde daralmasına neden olacak boyuta ulaştığında, makina ve donanım geçişine engel olabildiği gibi, daralan kesitler ocak havalandırmasında istenmeyen dirençlere yol açabilmektedir. Deformasyonlar, dikkatle izlenerek zamanında tamir tarama faaliyeti yürütülmediğinde ise tehlike arz edebilmektedir.

Ülkemiz kömür madenciliğinde yaygın olarak kullanılan galeri tahkimat sistemi genellikle çelik tahkimatlardan oluşmaktadır. Yüksek tahkimat basıncı sağlayamayan ve oldukça hafif çelik tahkimatların kullanımının uygun olduğu kaya kütlelerinin hakim olduğu işletmeler ülkemizde mevcuttur. Hemen her kaya kütlesi koşulu için alternatif tahkimat sistemleri ile çözüm bulunabilmektedir.

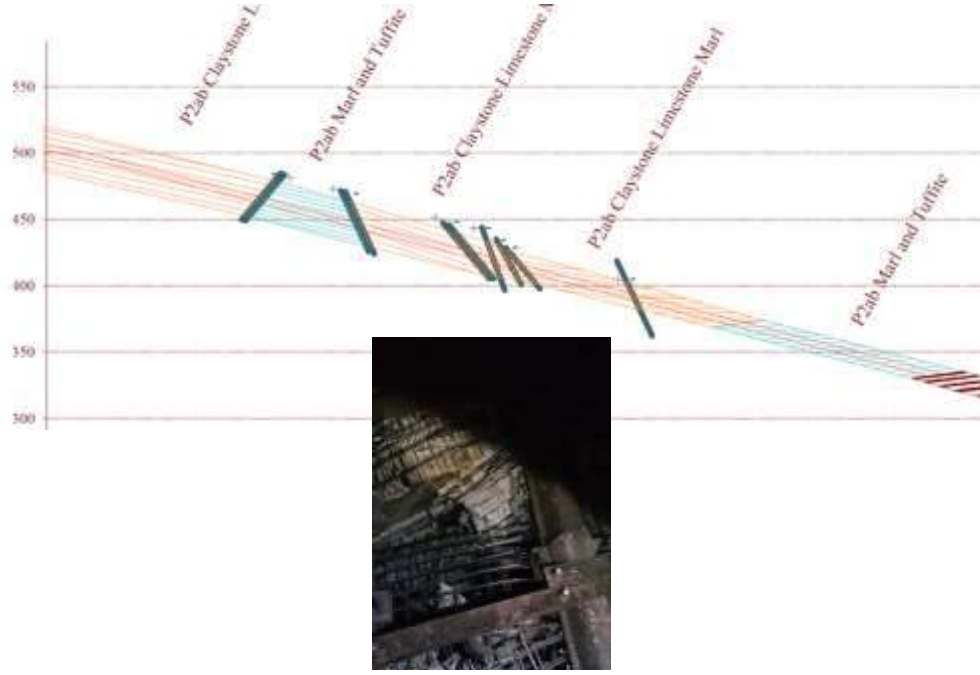
Avrupa’da sığ veya derin birçok kömür işletmesinde 90’lı yılların başına kadar püskürtme beton ve kaya saplaması yaygın şekilde uygulanmamıştır. Dünyada, sağlam kaya birimlerinin hâkim olduğu veya nispeten duraylı kaya kütle koşullarının bulunduğu işletmelerde, oldukça kısa kaya saplamaları kullanılabilir, (Farmer, 1985; Arthur, 2006). Çelik tahkimat ile kaya saplamalarının mukayesesi ise dikkatsiz bir şekilde yapılabilmektedir. Genellikle, çelik tahkimat ile kaya saplamalarının uygulama süreleri, saplama lehine kıyaslanmakta olsa da bu durum oldukça özensiz bir değerlendirme sonucudur. Kısa kaya saplamaları, özellikle split-set tipi seçildiğinde, uygun ilerleme hızları sunarken, zayıf kaya kütlesi koşullarında özellikle 2-3m’den uzun enjeksiyonlu kaya saplamalarının sık bir paternde yerleştirilmesi büyük zaman almaktadır. Tipik maden açıklıklarında çelik tahkimat yerleştirilmesi 30-50 dakika civarında zaman alırken, aynı uzunluk için sık ve uzun saplama uygulaması 2 saat veya daha fazla zaman alabilmektedir. Ayrıca, her tahkimat sisteminin farklı avantaj ve dezavantajlarını görmezden gelen, ezber yorumlara da sıklıkla rastlanabilmektedir. Basit birkaç temel özellik dikkate alınır ise, püskürtme beton veya betonarme oldukça güçlü bir tahkimat sistemi olup, kalınlığına bağlı olarak az veya çok rijit bir tahkimat sistemi olarak uygulanabilir. Püskürtme beton, pürüzlü kazı yüzeyine uyum sağlayabilmekte, yüksek tahkimat basıncı verebilmektedir; fakat dayanım kapasitesi aşıldığında dayanım kaybına uğrayabilmektedir. Kaya saplamalarının farklı çalışma mekanizmalarına sahip çok sayıda çeşidi bulunmakta olup, zayıf veya sağlam kaya birimlerinde kayanın kendi taşıyıcılığını arttırması, deformasyonları kontrol altına alması açısından oldukça yararlı ve hayatidir, (Mark vd., 2001). Deformasyona uyum sağlayan saplama tipleri bulunmaktadır ancak tek başlarına aşırı deformasyona uyum sağlamaları için özel uygulamalar yapmak gerekir. Çelik tahkimatlar ise beton ile birlikte kullanıldıklarında daha yüksek verimde çalışabilirken, tek başlarına kullanıldıklarında kaya yüzeyi ile temas sağlanmasında zorluk yaşanabilmektedir. Çelik tahkimatlar düzgün yükleme altında yüksek taşıma kapasitesi verirken, az noktadan ve dengesiz yük uygulandığında yenilme eğilimine girerler (Gerçek ve Geniş, 1997). Çelik tahkimatların, özellikle atnalına benzer kemer tavanlı tipleri deformasyona uyum sağlamakta oldukça başarılı olup, başarılı bir tasarım ve uygulama sonucunda yüksek deformasyonda bile taşıyıcılık gösterirler.

Herhangi bir yeraltı açıklığı için gerçekleştirilecek duraysızlık problemlerine karşı çok sayıda çözüm önerilebilir. Kullanılabilecek makine ve donanım seçenekleri, kazı boyutu, öngörülen ömür dikkate alındığında, bir işletme veya tünel kazısında seçenekler daralabilmektedir. Çalışmada sürekli olarak deforme olan ana nefeslik galerisindeki çok katmanlı tahkimat sistemi uygulaması konu edilmiş ve işletmeye özel koşullarda geliştirilmiştir.

ÇALIŞMA ALANI VE KAYA KÜTLESİ ÖZELLİKLERİ

Eynez Doğu Yeraltı Linyit İşletmesinde hazırlık çalışmaları tamamlanmasını müteakip 23.03.2015 tarihi itibarıyla tam mekanize yöntem kullanılarak, yeraltından kömür çıkarma projesinin ilk tam mekanize üretim ayağı devreye girmiştir. İkinci ayak ekipman montajının tamamlanması ile, Şubat 2016 tarihinden itibaren tam kapasite üretime geçilmiştir. İşletme, Soma kömür havzasında, Eynez köyünün batısında yer almaktadır. 2015 yılı içerisinde tamamlanan 500 Doğu ve 498 Batı ana galerileri (desandreler) TH34 tip çelik tahkimat ve yer yer püskürtme beton uygulaması ile desteklenmiştir. 500 Doğu galerisinde ana bant yer almakta ve 498 Batı galerisi nefeslik olarak kullanılmaktadır. Ana bant galerisi 21m² ve nefeslik galerisi 18m² olacak şekilde ve aralarında net 30m’den fazla mesafe ile açılmışlardır. Her iki galeride tamirat gerektiren kısımlara müdahale edilmektedir. Bu çalışmada daha büyük ölçüde deforme olan nefeslik galerisi incelemeye alınmıştır. %40 veya daha fazla konverjansın görüldüğü kısımlar, Soma kömür havzasında P2ab olarak adlandırılan kısımda yer almaktadır (Şekil 1). Koyu renkli kil bantları ve nispeten sağlam marn tabakalarının bulunduğu bölgede, yer yer laminalı bir

yapı gözlemlenmektedir. Nefeslik galerisinde deforme olan faylı kısımlara ilave bir olumsuzluk olarak, ocak havasındaki yüksek nem karşımıza çıkmaktadır. Bağlı nem oranının ana nefeslik galerisinde %90 seviyelerinin üzerine çıkması nedeni ıslanıp kurumaya karşı hassasiyeti olan zayıf kaya kütlelerinin dayanımı daha da düşmektedir (Farmer, 1985). Şişen kil minerallerinin varlığı bilirse de, kaya kütlelerinde toplam şişen kil mineralinin %30'dan fazla olup olmadığı ile ilgili soru işaretleri bulunmaktadır ve kısmen şişme etkisinin de bulunduğu söylenebilir.



Şekil 1. Galeride deforme olan yaklaşık 375-425m kotları arası ve etrafındaki jeolojik kesitte birimler ve birime ait fotoğraf

Yüksek deformasyona maruz kalan galeriler birkaç tamirat geçirdikleri ve tahkimat arkasında gevşeyen kaya kütlelerinin bulunması nedeni ile mekanik özellik tayini geriye dönük analizler ile gerçekleştirilmiştir. Kaya kütlelerinin dayanımı Genelleştirilmiş Hoek-Brown yenilme ölçütü ve GSI (Jeolojik Dayanım İndisi) (Hoek, 2007) sistemleri kullanılarak kestirilmiştir. Çizelge 1'de fikir vermesi açısından Mohr-Coulomb parametreleri de sunulmuş ancak analizlerde Gen. Hoek-Brown parametreleri kullanılmamıştır.

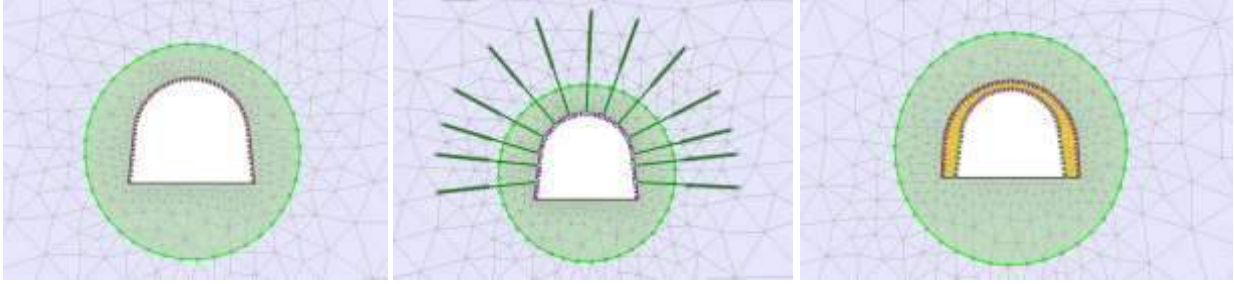
Çizelge 2. Jeolojik birimlerin mekanik özellikleri

Malzeme tipi	GSI	Gen. Hoek-Brown				Eşdeğer Mohr-Coulomb	
		E_{rm} (MPa)	σ_{ci} (MPa)	m_i	σ_{cm}	c' (MPa)	ϕ' (°)
P2ab	35	226	10	7	1.039	0.272	25.91
P2ab örselenmiş	30	163	10	7	0.913	0.244	24.42
P2ab nemden etkilenmiş durum	30	65	4	4.2	0.282	0.137	15.37

Deformasyon nedeni ile örselenen kaya kütleleri içerisindeki çatlaklanma, ocak havasındaki nemin tavan, yan duvar ve tabanda etki etmesini kolaylaştırdığı belirtilebilir. Ayrıca, atımları çok büyük olmasa da faylanma ve tamir tarama faaliyetlerinin, nemin kaya kütlelerine tesiri yönünde olumsuz etkisi bulunmaktadır. Bu etki, Çizelge 1'de yaklaşık olarak dayanımın 1/3'üne karşılık gelmektedir. Geriye dönük analizlerde çapı 5m'lik bir alanın nem ve örselenme içerisinde olduğu kabul edilerek bu değerlere erişilmiştir. Bu alan değiştirildiğinde farklı dayanım değerlerinin bulunması da mümkündür.

DEFORMASYON VE TAHKIMAT SİSTEMİ ANALİZLERİ

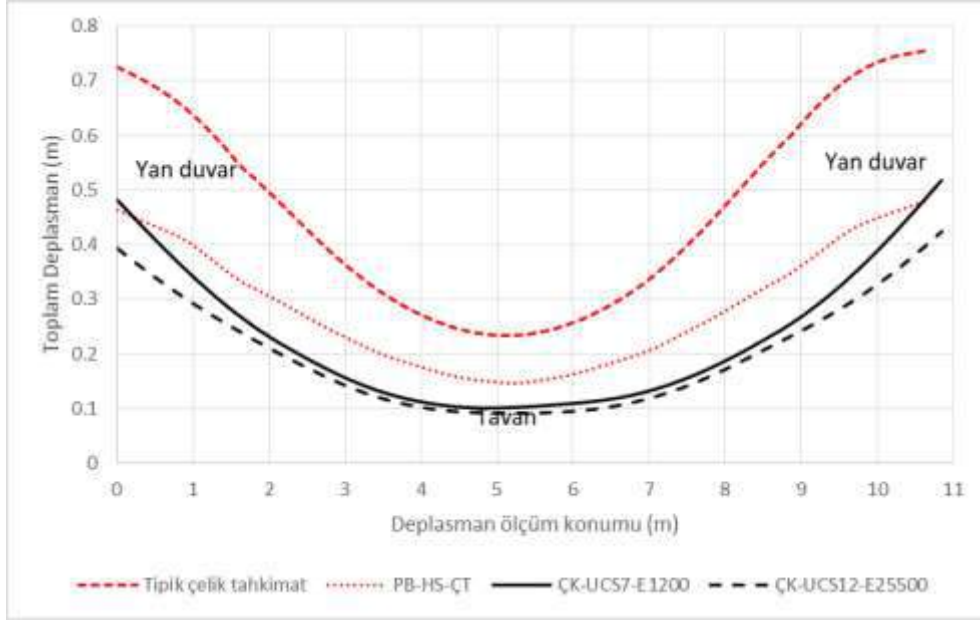
Daha önce 0.75m aralıklar ile yerleştirilmiş atnalı TH34 tahkimatlı kesit, deformasyona maruz kaldıktan sonra, tekrar aynı tahkimat sistemi ile yenilenmiş ve bir ay olmadan gözle görülür deformasyona (%4-8 konverjans) maruz kalmıştır. Bu bölge için derinlik 155-200m aralığında değişmektedir. Çeşitli tahkimat sistemlerini karşılaştırabilmek için sayısal modeller oluşturulmuştur, (Şekil 2). Bunların ilki 0.75m aralıklar ile çelik tahkimat uygulamasıdır. İkinci olarak 0.75x1m paternde 6m uzunlukta 230kN kopma yüküne sahip halat saplama, 20 cm kalınlığında 30MPa dayanımda püskürtme beton ve 0.75m aralıklar ile çelik tahkimat uygulamasıdır. Son olarak, çift sıra çelik tahkimat ve dolgu kombinasyonunun temel görüntüsü verilmiştir. Dolgulu tahkimat sisteminde farklı dolgu özellikleri dikkate alınarak sonlu elemanlar analiz yöntemi ile deformasyonlar araştırılmıştır (Rocscience, 2011).



Şekil 2. Tipik çelik tahkimat uygulaması (solda), halat saplama, püskürtme beton ve çelik tahkimat (ortada), çok katmanlı dolgulu tahkimat sistemi (sağda)

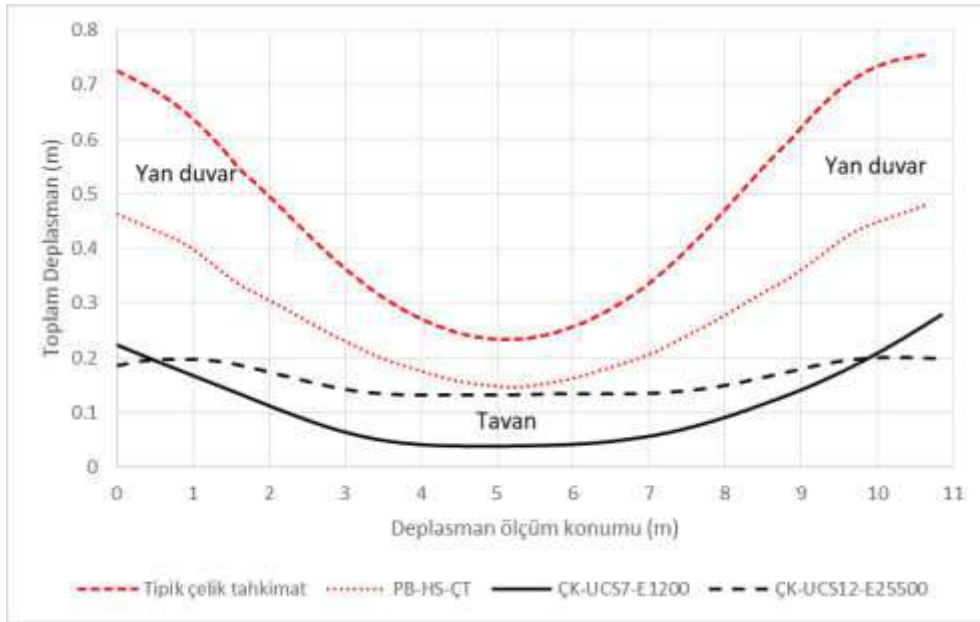
Şekil 2’de verilen sayısal model görüntülerinde daire içerisine alınmış şekilde örselenmiş ve nemden tesirine maruz kalmış zon görülebilmektedir. Bu zonun, kaya kütlelerinin doğal halinden farklı özelliklerde olması gerektiği daha önceki bölümde Çizelge 2’de verilmiştir.

Çok katmanlı tahkimat sistemi için iki farklı dolgu özelliği varsayılmıştır. Sayısal modellemeler sonucu ortaya çıkan deplasmanların, galeri yan duvar ve tavan boyunca değerleri, dört farklı uygulama için verilmiştir, (Şekil 3). Burada “Tipik çelik tahkimat” uygulaması ile beraber, 20cm kalınlıkta püskürtme betonun, 13 adet halat saplamanın ve çelik tahkimatın 0.75m aralıklar ile yerleştiği tahkimat sistemi, “PB-HS-ÇT” ismi ile verilmiştir. Çok katmanlı tahkimatta, dolgu özelliği olarak iki sınır değer varsayılmıştır. İlki 7MPa basınç dayanımına sahip, elastik modülü $E=1200\text{MPa}$ olan çok katmanlı tahkimat sistemi “ÇK-UCS7-E1200” ve diğeri de 12MPa basınç dayanımına sahip ve 25500MPa elastik modül değerlerinde olan dolgu tipi “ÇK-UCS12-25500” olarak tanımlanmıştır. Düşük dayanımlı dolgu daha sıkışabilir özellikte olup yüksek dayanıma sahip olan malzeme ise elastik modülünün yüksekliği sayesinde daha çok betona benzer özelliklerdedir. Oluşan deplasmanların karşılaştırılması Şekil 3’te verilmiştir.



Şekil 3. Farklı tahkimat sistemlerinin deplasman karşılaştırması

Dolgulu uygulamada galeri çevresi nemden yalıtıldığı için dayanım parametrelerinde %60 yerine %40 indirgeme yapılarak analizler tekrarlanmış ve gerçek durumu daha iyi yansıttığı düşünülen sonuçlar Şekil 4'te verilmiştir. Çalışmaya konu edilen kaya davranışlarında, yaygın olarak tabanda tahkimat sistemi oluşturularak tam kapalı daire oluşturulması standart bir uygulamadır, (Barla, 2001). Galerilerin sürekli kullanımda olması, stabil bir invert tahkimat sisteminin büyük derinlik ve kavise sahip olması gerektiği ve bu nedenle büyük zahmet gerektirdiği için uygulama açısından taban tahkimat sistemi tercih edilmemiştir. Bu durumda tahkimat sistemine daha fazla yük binmekte ve taban kabarmasının önüne geçilememektedir. Tabanın kabardığında taranmasında işletme koşulları açısından bir problem bulunmadığı için tasarım da bu yönde geliştirilmiştir.



Şekil 4. Dolgulu çok katmanlı uygulamada nem etkisinin azaltıldığı analiz sonuçlarına göre deplasmanlar

Çok katmanlı ve dolgulu tahkimat sistemleri, diğer tahkimat sistemlerine oranla daha az deformasyonun oluşmasına yol açmıştır. Tavanın kemerli yapısı sayesinde tüm tahkimat sistemlerinde, tavanda daha az deformasyon görülmüştür. Sahada da bu davranış gözlemlenmiş, yan direklerin kapanması daha büyük bir problem olarak tespit edilmiştir. Dolgulu tahkimat sistemlerinin diğer tahkimat sistemlerine göre %30 ile %80 daha az deformasyon oluşmasına yol açması gerektiği hesaplanmıştır. Özellikle Şekil 4'te verilen sonuçlara göre sıkışabilir malzeme kullanımının en başarılı sonucun elde edilmesini sağladığı görülmüştür. Yan direklerde galerinin kullanılabilirliğini etkileyecek kadar deformasyon oluşmayıp, tavanda 5cm'den küçük deformasyon oluşumu hesaplanmıştır.

YERİNDE UYGULAMA

Hâlihazırda kullanılmakta olan galerilerde faaliyetleri en az şekilde aksatacak ve iş güvenliğini sağlayacak şekilde tamir tarama işleri yürütülmesi gerekir. Uygulanabilecek tahkimat seçeneklerinden en pratik olanları değerlendirmeye alınmıştır. Deforme olan çelik tahkimatın, aynı tahkimat ile yenilenmesi durumunda deformasyonların devam edeceği çıkarımını yapmak mümkündür. Püskürtme beton ve halat saplama uygulaması ise deformasyonları kayda değer derecede azaltmaktadır. Ancak, 20cm kalınlığında püskürtme beton ve halat saplamalarda, hesaplamalara göre yenilmeler olmakta ve uzun dönemde davranış adına şüpheler doğurmaktadır. Aynı zamanda, tek halat saplamanın reçine ile uygulamasının yaklaşık 20 dakika sürdüğü göz önüne alındığında bir sıra uygulamanın 260 dakika süreceği tahmin edilebilmektedir. Bu süre, çelik tahkimatın yerleştirilmesine göre çok uzun bir süre olarak karşımıza çıkmaktadır. Kuru karışım püskürtme beton uygulamasında ise 20cm kalınlığı elde etmek oldukça güç ve zaman alıcıdır.

Dolgulu çok katmanlı tahkimat sistemi ise deformasyonları etkin olabileceği ve ocak şartlarına uyumu gözetilerek bu sistemin uygulanmasına karar verilmiştir. Deforme olmuş galeri kesitinde eski çelik tahkimatlar sökülmüş, kaya kütlesi tekrar şekle sokularak yeni ve daha geniş kesit uygulanmış ve daha sonra galeri iç tahkimat katmanı oluşturulmuştur. Gerekli yalıtım ve kalıp işleri tamamlandıktan sonra dolgu uygulaması yapılmıştır (Şekil 5).



Şekil 5. Deforme olmuş kesitin tekrar şekle sokulması ve dış katman çelik tahkimatın yerleştirilmesi (solda), iç ve dış tahkimatlar ve arasında dolgu uygulaması yapılmadan önce (sağda)

Dolgu malzemesi olarak termik santral külü, çimento, 0-4mm kireçtaşı ve su kullanılmaktadır. Bu malzemelerin karışım oranları değiştirilerek farklı dayanım değerlerine erişmek mümkündür. İşletmede 7-13MPa dayanım aralığında farklı dolgu veya rambles tipleri üretilmiştir ve bunların testleri Dokuz Eylül Üniversitesi Kaya Mekaniği Laboratuvarında yürütülmüş ve deney sonuçları elde edilmiştir.

Uygulama esnasında, dış çelik tahkimat katmanının arkasındaki çatlaklı bölgeye nüfuzun sağlanması için akışkanlık gösteren bir dolgu planlanmış ve uygulanmıştır. Dolgunun dayanım değeri, uygulanan su oranının hassas bir şekilde ayarlanamaması sonucu değişkenlik göstermektedir. Dolgunun sıkışabilir karakterde olduğu ve dayanımın 10MPa değerine erişmediği gözlemlenmiştir. Böylece, hesaplamalarda sıkışabilen ve gevrek şekilde yenilmeyen dolgunun sağladığı avantajdan yararlanılacak şekilde uygulama yapılmış olduğu söylenebilir. Dolgu uygulanmış halde galeri içi görünüm Şekil 6'da verilmiştir.

Alışlageldiği şekilde tamir tarama faaliyetleri yürütülerek sadece çelik tahkimat sisteminin değiştirilmesi ile elde edilen galeriler, yaklaşık 3 hafta süre içerisinde deforme olup devamında kesitte ciddi daralmalar görülmekteydi. Yeni uygulama ile tamir edilen kısımlarda, gözle görülür bir deformasyonun 7 ay içerisinde oluşmadığı gözlemlenmiştir. Toplam kesit daralmasının 8cm gibi seviyelere vardığı nadir bölgeler bulunsa da, galerinin kullanılabilirliği anlamında problemin bulunmadığı tespit edilmiştir (Şekil 6).



Şekil 6. Tamamlanmış durumda çok katmanlı tahkimat sisteminin galeri içerisinde görünümü

Tabanda tahkimat bulunmaması nedeni ile zaman zaman tabanın taranması işletme koşullarında zorlu bir probleme yol açmamaktadır. Özellikle, yetersiz dayanımda beton ve çelik tahkimattan oluşan invert desteklerinin taranması çok zahmetli olduğundan, sadece kabaran zeminin taranması işletme tarafından daha cazip bulunmuştur.

YORUMLAR

Nefeslik ana galerisinde oluşan deformasyon neticesinde tamir edilmesi gereken yaklaşık 200m uzunluğunda kısma yapılacak müdahale seçenekleri araştırılmıştır. Klasik çelik tahkimat yenileme işine ilaveten halat saplama-püskürtme beton-çelik tahkimat uygulaması ve çok katmanlı tahkimat sistemi uygulamalarının doğuracağı sonuçlar incelenmiştir. Nihayetinde çok katmanlı dolgulu tahkimat sisteminin uygulanmasına karar verilmiş ve 7 ay boyunca izleme yapılan yeni tahkimat sisteminin uygulandığı bölgede madencilik faaliyetlerini engelleyecek kadar deformasyona rastlanmamıştır, (konverjans <%4).

Oluşturulan tahkimat sistemi sıkışabilir dolgu malzemesi ve TH tip çelik profiller ile tasarlanmıştır. Dış katman olarak kullanılan çelik tahkimat uygun akışkanlıkta dolgu malzemesi ile kaplandığı, içte kalan çelik profillerin de dolgu sayesinde kaya ile tamamen temas içerisinde olması nedeni ile yük taşıma kapasitelerinden tam olarak yararlanılabilmesi mümkün olmuştur. Sıkışabilir dolgu malzemesi enerji absorbe edici özellik sağlamakta ve sıkışıkça daha pek bir malzeme haline gelebilmektedir. Tahkimat sistemi kalınlığı itibari ile klasik tahkimat sistemlerine göre çok büyük eylemsizliğe sahip olup eğilme momentine karşı direnç sağlamaktadır. Ayrıca, kaya kütlelerinin neme maruziyeti dolgu uygulanan kısımda sağlanabilmiş ve dolgunun çatlaklı kaya zonuna uyumlu yerleşmesi katkı sağlamıştır.

Geliştirilen tahkimat sisteminin, gerektiğinde ve uygulama koşulları oluştuğunda, taban tahkimat sistemi ile tamamlanması ve halat saplamalar ile beraber uygulanması mümkündür. İşletme bünyesinde halat saplamanın, çok katmanlı tahkimat sistemine adaptasyonu ile ilgili çalışılmaktadır. İşletmede, malzeme nakliyatını kolaylaştıracak hidrolik ve pnömatik iletim çalışmaları ile beraber dolgu özelliklerini ve reçeteyi iyileştirecek çalışmalara da devam edilmektedir. Geliştirilen sisteme alternatif olarak, farklı işletme koşullarında Bernold kaplaması ve beton uygulaması da yapılabileceği gibi mevcut sistem baz alınarak geliştirme yapmak mümkündür.

KAYNAKLAR

- Arthur, J. (2006). Ground control in coal mines in Great Britain. Coal 2006: Coal Operators' Conference (pp. 10-19). University of Wollongong & the Australasian Institute of Mining and Metallurgy.
- Barla, G. (2001). Tunnelling under squeezing rock conditions. Eurosummer-school in tunnel mechanics, Innsbruck (pp. 169-268).
- Farmer, I.W. (1985). Coal Mine Structures. Chapman and Hall Ltd.
- Hoek, E. (2007). Practical Rock Engineering: RocScience. Available from the publisher at <http://www.rocscience.com/hoek/PracticalRockEngineering.asp>.
- Gerçek, H. Geniş, M. (1997). Practical considerations in dimensioning of supports for rigid steel arches. International Symposium on Rock Support, Lillehammer, Norway
- Mark, C., Molinda, G.M. and Dolinar, D.R., (2001). August. Analysis of roof bolt systems. In: Proceedings of the 20th International Conference on Ground Control in Mining. Morgantown (pp. 218-225), WV: West Virginia University.
- Rocscience Inc., (2011). Phase2, v8.