

KAYA SAPLAMASI VE DEMİR BAĞLARIN UZUN AYAK TABAN YOLUNDAKİ DAVRANIŞI VE PERFORMANS ANALİZLERİ

BEHAVIOUR OF ROCK BOLTS AND STEEL ARCHES IN LONGWALL GATEROADS AND THEIR PERFORMANCE ANALYSES

Erdal ÜNAL, *ODTÜ, Maden Müh.Böi, 06531 Ankara*

İhsan ÖZKAN, *Cumhuriyet Üniversitesi, Maden Müh. Böl., 58140 Sivas*

ÖZET

Bu bildiride, Çayırhan Kömür Ocağı taban yollarında kullanılacak emniyetli ve ekonomik bir tahkimat sisteminin geliştirilmesi amacıyla yapılan araştırma projesinin ilk aşama sonuçları sunulmaktadır. Bu araştırma sırasında, A-810 taban yolunun 300 metrelik bir bölümünde, Split-Set, Uzayabilen Super Swellex, Sis-Reçineli ve Fosroc-Reçineli saplamalar ile Rijit ve Kaymalı Demir bağlarla desteklenen tahkimat bölgeleri oluşturulmuş ve bu bölgelerde konverjans istasyonları kurulmuştur. Yapılan ölçümler ve istatistiksel değerlendirmelerle taban yolu açılırken ve uzunayak panosu ilerlerken açıklıkların davranışı ve tahkimat elemanlarının performansı incelenmiştir.

ABSTRACT

The results presented in this paper are based on a comprehensive research project aimed at developing safe and economical support system for gateroads in Çayırhan Coal Mine. During these studies a 300-m section of a gateroad was supported by six different support systems, namely: Split-Set, Yielding Super Swellex, Sis-Resin, Fosroc-Resin bolts and rigid and yielding steel arches. The behaviour of the gateroad and performances of the supports were investigated, by convergence measurements and statistical analyses, during initial excavation of the gateroad, and during advance of the longwall panel.

1. GİRİŞ

Kaya saplamları emniyet, verimlilik ve ekonomik açıdan sağladıkları katkılar nedeniyle yeraltı açıklıklarının tahkimatında, dünya madenciliğinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Yeraltı maden galerileri ve keşişim bölgeleri için kaya saplamları ile tahkimat tasarım çalışmalarına kılavuz olacak bir görgül tasarım yöntemi Ünal (1983, 1989, 1992) tarafından geliştirilmiştir.

Ünal'a (1992) göre bir açıklığın kaya saplamları ile tahkimat mekanizması, yeraltı açıklıklarının civarında oluşan arazi basınç-kemerleri ile acılığın hemen üstünde oluşan tavan-kemerleri kriteri ve askıya alma ilkesi ile açıklanabilir. Kaya kütlesi özelliklerine (M-RMR değeri), yeraltında yaratılan açıklığın genişliğine ve arazi gerilmelerine bağlı olarak hesaplanabildi "kaya-yükü yüksekliği" askıya alınması gereken tavan yükünü göstermektedir. Mekanik, reçineli, Split-Set, Swellex ve Dyna-Rok kaya saplamları için özel tahkimat tasarımı yöntemleri ve analizler için kullanılabilen ROCKBOLT isimli bir bilgisayar programı geliştirilmiştir. Kaya saplamları ile ilgili tasarım ve analizler konusunda ayrıntılı bilgiler Ünal (1989, 1992) ve Ünal ve Ergür (1990) tarafından verilmiştir.

Kaya saplamları ile tahkimat tasarım çalışmasında kaya kütlesi kalitesi önemli bir girdi parametresidir. Bu parametrenin belirlenmesinde geliştirilmiş kaya kütle sınıflama sistemi (M-RMR) kullanılmıştır. Orijinal RMR ve Q sistemleri ile bunların sonraki sürümleri zayıf, tabakalı, kırıklı ve kil içerikli kaya kütlelerinin özelliklerinin belirlenmesinde yetersiz kalmaktadır. RMR Sistemi (Bieniawski, 1984), yukarıda tanımlanan kaya kütleleri için yeniden düzenlenmiştir (Ünal ve Özkan, 1990). Daha sonra bu sistem, bor, kömür, bakır-çinko, trona ve demir içeren maden sahalarında yapılan değişik araştırmalarda denenmiş ve bugünkü şeklini almıştır (Ulusay, 1991; Ünal ve ark., 1997a). M-RMR sistemi örneklerle desteklenerek Ünal (1996) tarafından ayrıntılarıyla yayınlanmıştır.

M-RMR Sistemi temel alınarak Türkiye'de ilk defa TKİ-OAL Çayırhan Linyit Kömür Ocağı'nda kaya saplama tasarımı uygulaması yapılmıştır. Bu çalışmaya ait ayrıntılı bilgiler bu bildiri'nin takip eden bölümlerinde anlatılmaktadır.

2. KAYA KÜTLESİ ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ

Kömür damarı üzerindeki litolojik birimleri ve bunların yapısal özelliklerini belirlemek için A-510 ve A-810 galerilerinde uzunlukları 9-12 m arasında değişen 9 adet yeraltı sondajı yapılmıştır. Sondajdan elde edilen karotlar üzerinde sınıflamaya yönelik loğlama yapılmış ve kaya mekaniği deneyleri gerçekleştirilmiştir.

Arazi ve laboratuvar çalışmaları sonucunda elde edilen veri tabanı ve ROCKMASS-TUNNEL bilgisayar programı kullanılarak, M-RMR Sistemi'ne göre kaya kütlesi özellikleri belirlenmiştir. Ayrıca program çıktısı olarak jeoteknik log, süreksizlik loğu, ve sınıflama loğu elde edilmiştir (Ünal ve ark., 1994).

3. KAYA SAPLAMALARI İLE TASARIM ÇALIŞMALARI

Çayırhan kömür ocağında tabanyolları geleneksel olarak 1 m aralıkla yerleştirilen rijit demir bağlar ile tahkim edilmektedir. Panonun tavan ayağının gerisinden başlayan ve taban ayağın önüne kadar süren yaklaşık 40 m'lik bölgede geçici yardımcı tahkimat elemanları (hidrolik direkler) kullanılmaktadır. Galerilerin üst taban yolu olarak ikinci kez kullanılması sırasında ciddi duraylılık problemleri ile karşılaşmaktadır.

Kaya saplamaları ile tahkimat uygulamasının yapılacağı A-810 taban yolunda, yapılan kaya mühendisliği çalışmaları sonucunda, tasarım için gerekli girdi parametreleri belirlenmiştir. A-810 taban yolu için belirlenen genel girdi değerleri Çizelge 1'de sunulmuştur.

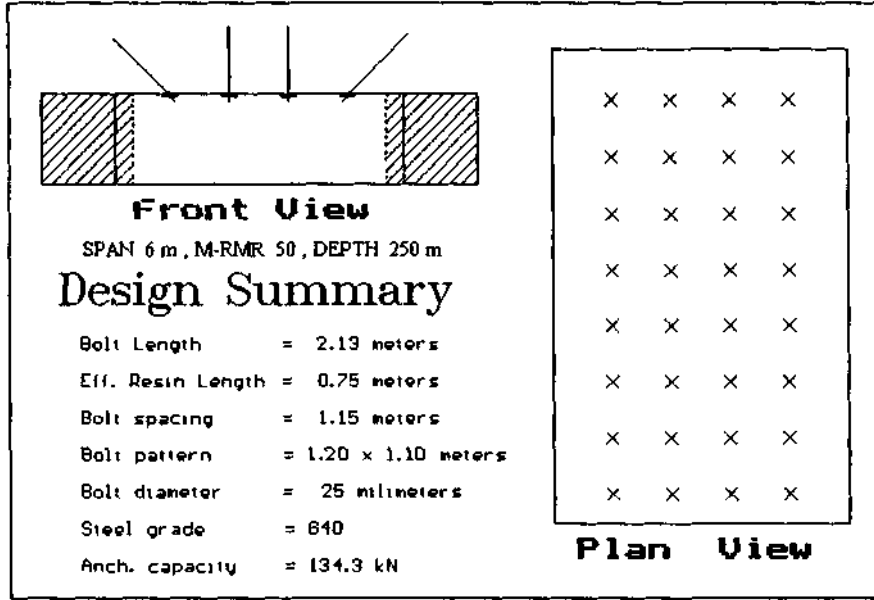
Çizelge 1. A-810 taban yolu için çıkarılan genel girdi tasarım değerleri.

Girdi Parametreleri	Ortalama Değer
M-RMR (ağırlıklı ortalama)	50
Açıklık genişliği (m)	6
Yüzeyden derinlik (m)	250
Yalancı tavan birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	20
Örtü tabakasının birim hacim ağırlığı (kN/m ³)	23
Yatay gerilme-düşey gerilme oranı, σ_h/σ_v	1/3
Yalancı tavan tipi	Marm

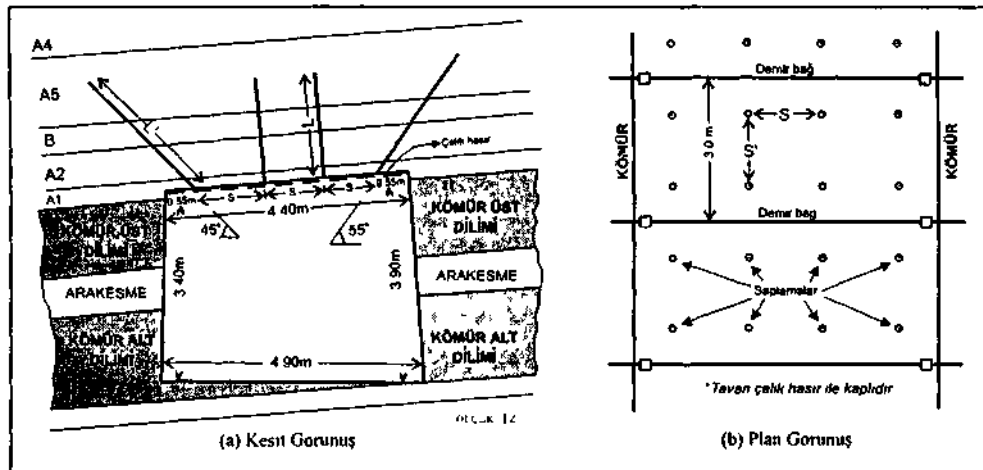
ROCKBOLT bilgisayar programından elde edilen tipik bir tasarım çıktısı Şekil 1'de verilmektedir. Bu çalışmada Split-Set, Uzayabilen Super-Swellex, Sis-Reçineli ve Fosroc-Reçineli kaya saplamaları için tahkimat analizleri yapılmış ve elde edilen sonuçlar, genelleştirilmiş bir örneği Şekil 2'de gösterilen bir tahkimat modeli olarak sunulmuştur.

4. PİLOT UYGULAMA

Kaya saplamaları ile tahkimat modelleri belirlendikten sonra, A08 panosuna ait 810 taban yolunda, her bir saplama tipi için 50 m uzunluğunda bir bölgenin tahkimatı şu şekilde yapılmıştır: (i) tasarım çıktısındaki düzene göre kaya saplaması, (ii) tavanda tel hasır, (iii) 3 metrede bir demir bağ. Kaya saplamaları ile tahkimatlandırılmış dört bölgeye ek olarak 50 m'lik bir bölge 1 metre aralıklı kaymalı demir bağ (KDB) ve 50 m'lik bir bölge de 1 metre aralıklı geleneksel rijit demir bağ (RDB) kullanarak tahkimatlandırılmıştır. Bu pilot uygulama bölgesine ait plan görünüşü Şekil 3'de verilmiştir. Uygulama esnasında her bir tahkimat bölgesinden diğer bir tahkimat bölgesine geçişte bu iki bölgenin birbirlerinden etkilenmemesi için genişliği 6-12 m olan geçiş bölgeleri bırakılmıştır. Bu geçiş bölgelerinde kaya saplamaları ile birlikte kaymalı demir bağ kullanılarak yoğun bir tahkimat yapılmıştır.



Şekil 1. Fosroc reçineli kaya saplamaları için ROCKBOLT programından elde edilen çıktıları.

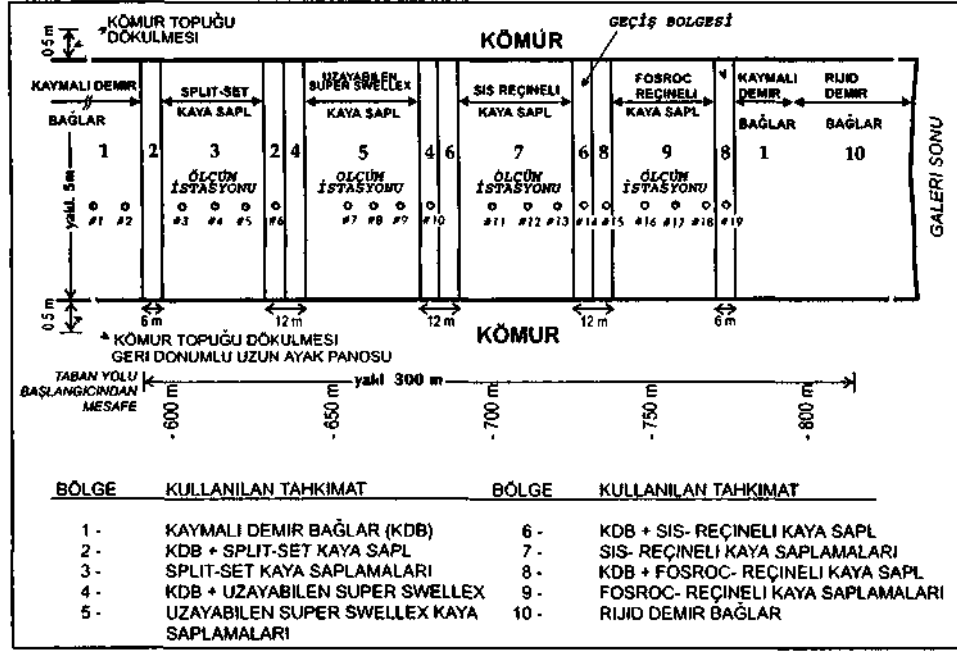


Şekil 2. Çayırhan Linyit Kömür Ocağı A-810 taban yolunda uygulanan tipik bir kaya saplamaları ile tahkimat modeli.

5. ÖLÇÜMLER

Kaya saplamaları ve demir bağlarla desteklenen açıklıkların davranışı ve bu tahkimat sistemlerinin performanslarını belirlemek amacıyla yeraltında, kaya saplamalarının delik içinden-çekme (pull-out) testleri yapılmış, ayrıca galerinin kapanması ve tavan tabakalarının hareketleri ölçülmüştür. Delik içinden-çekme testleri her saplama türü için

aynı ayrı yapılmış ve bu işlem A-810 taban yolunda belirli aralıklarla sistematik olarak tekrarlanmıştır.



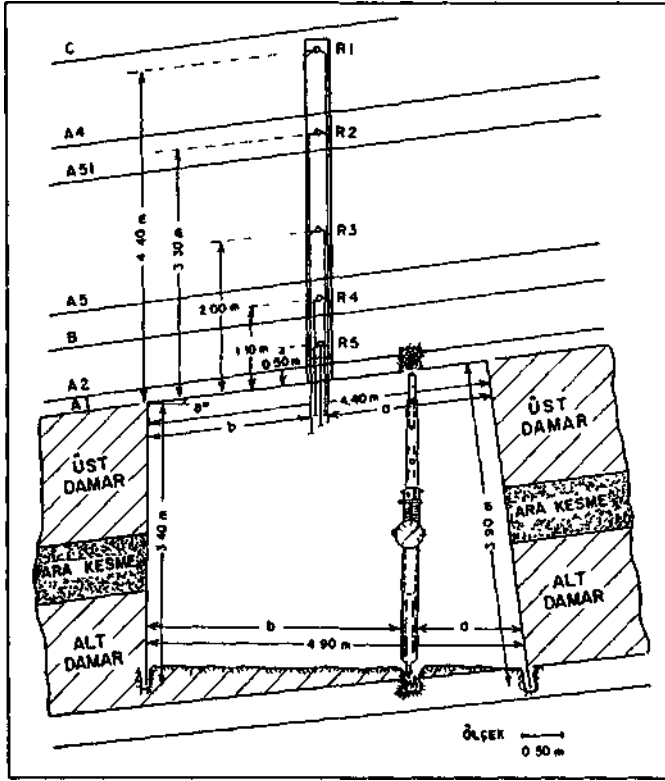
Şekil 3. Pilot uygulama bölgesinin plan görünüşü ve konverjans ile delik içi ekstansometre istasyonlarının konumları.

Galen kapanması ve tavan hareketlerinin ölçülebilmesi için A-810 taban yolunda konverjans ve delik içi ekstansometre istasyonları kurulmuştur. Kaya saplaması ile tahkimatlandırılmış bölgelerde üçer adet, geçiş bölgelerinde birer adet, kaymalı demir bağli bölgede 1 adet ve rijid demir bağli bölgede ise iki adet olmak üzere toplam 18 konverjans ve 16 delik içi ekstansometre istasyonu kurulmuştur. Bu istasyonların galerideki konumları, Şekil 3'te ve Şekil 4'teki sırasıyla plan ve kesit görünüşlerde verilmiştir.

Konverjans ölçümleri için, 0.01 mm hassasiyetli mekanik komparatör saati (dial gauge) içeren teleskopik bir konverjans ölçer kullanılmıştır. Tavan tabakalarının hareketlen de yine 0.01 mm hassasiyetli mekanik komparatör içeren yaylı ve telli bir delik-içi ekstansometre kullanılarak ölçülmüştür (Ünal ve ark., 1994).

A-810 taban yolu sürülürken yeni açılmış arına hemen kurulan konverjans ve ekstansometre istasyonlarında ölçümler ilk 30 gün boyunca dört saat aralıkla, daha sonraları ise hareketlerdeki azalmaya bağlı olarak kademeli bir şekilde 8, 16 ve 48 saat zaman aralığıyla ölçülmüştür. Sürekli olarak yapılan veri analizleri sonucunda ve duraylılığın büyük ölçüde sağlandığı görüldükten sonra yaklaşık 3 ay boyunca haftada iki kez olmak üzere ölçümlerin alınmasına devam edilmiştir. Toplam 15 ay süren birinci

aşama ölçümleri sonucunda 46,000 konverjans ve 110,000 deliği ekstansometre ölçümü elde edilerek çok önemli bir veri tabanı oluşturulmuştur.



Şekil 4. A-810 taban yolu kesitinde konverjans ve delik içi ekstansometre istasyonları.

Pilot uygulama bölgesinden elde edilen veriler değerlendirilerek duraylılık analizleri yapılmıştır. Bu analizler sırasında öncelikle farklı tahkimat bölgelerinde ölçülen konverjans ve tabaka deformasyonu değerlerinin zaman ve galeri ilerlemesine karşı ilişkileri istatistiksel olarak değerlendirilmiştir.

Taban yolu sürülürken yapılan konverjans ölçümlerinden aşağıda belirtilen önemli sonuçlar elde edilmiştir:

1. Bütün tahkimat bölgelerinde duraylılık sağlanmıştır. Bu durum kullanılan tasarım yönteminin güvenilirliğini göstermektedir.
2. En yüksek konvejjanslar Kaymalı Demir Bağ (14.15 mm) ve Rijit Demir Bağlarla (11.15 mm) desteklenen tahkimat bölgelerinde gözlenmiştir. Kaya saplamaları ile talikim edilen bölgelerde ise duraylılık sağlandığında ulaşılan konverjans değerleri demir bağı tahkimat bölgelerine göre daha düşüktür.
3. Kaya saplamalı bölgeler içerisinde en yüksek konverjans Split-Set (10.15 mm), en düşük konverjans ise Uzayabilen Super Swellex (4.6-6.5 mm) bölgesinde oluşmuştur. Reçineli kaya saplamalarıyla desteklenen bölgelerdeki konverjans değerleri ise 6-7 mm seviyesindedir.

4. Kaya saplamaları ile tahkimatlandırılmış bölgede tavan-tahkimat etkileşimlerinin tamamlanıp duraylılığın sağlandığı noktaya kadarki konverjans eğrileri, reçineli ve Split-Set saplamalar ile demir bağlarda doğrusal bir fonksiyon şeklinde, Uzayabilen Super Swellex tipinde ise doğrusal olmayan üstel bir fonksiyon şeklindedir.

A-810 taban yolunda kumlan konverjans istasyonlarından elde edilen ölçüm değerlerinin istatistiksel olarak değerlendirilmesi sonucunda konverjansın zaman ve galeri aynasının ilerlemesine bağlı olduğu belirlenmiş ve bu durum Eşitlik 1 'de verilen matematiksel bir bağıntı ile ifade edilmiştir (Ünal ve ark., 1997b). Tahkimatlı galerilerin davranışını ve etkileşimini daha iyi ortaya koyabilmek için toplam konverjans fonksiyonunun ardarda iki kez zamana göre tam türevi alınmıştır (bkz. Eşitlik 2 ve 3). Daha sonra bu fonksiyonlar kullanılarak konverjans hızı ve ivmesini gösteren grafikler elde edilmiştir. Böylece, değişik tahkimat türleri ile desteklenen açıklıkların davranışını ve tahkimat-kaya kütlesi etkileşimini, galeri açılması sırasında, temsil eden matematiksel bağıntılar (Eşitlik 1, 2 ve 3) ve grafikleri (Şekil 5, 6 ve 7) elde edilmiştir. Bu grafiklerde değişik tahkimat bölgelerine ait konverjans, konverjans hızı ve konverjans ivmesinin zamana karşı değişimi gösterilmektedir. Bu grafiklerin analizi ile tahkim edilmiş galerilerin davranışı, kaya kütlesi-tahkimat etkileşimi, tabaka kontrolünün kalitesi ve değişik tahkimat türlerinin performansları belirlenebilmektedir.

$$U = \left[A + B e^{-\frac{c}{(T+1)}} \right] e^{-\left(\frac{h_t}{(X+1)} \right)^{1.8}} \quad [1]$$

- U** : toplam konverjans (mm)
A : galeri ilerlemesine bağlı konverjans sabiti
B : zamana bağlı konverjans sabiti
c : konverjansın en yüksek değere ulaşmasını kontrol eden sabit
ht : kaya yükü yüksekliği (m)
T : zaman (gün)
X : galeri aynasından uzaklık (m)

Eşitlik 1'deki fonksiyonun türevi alındığında konverjans hızı:

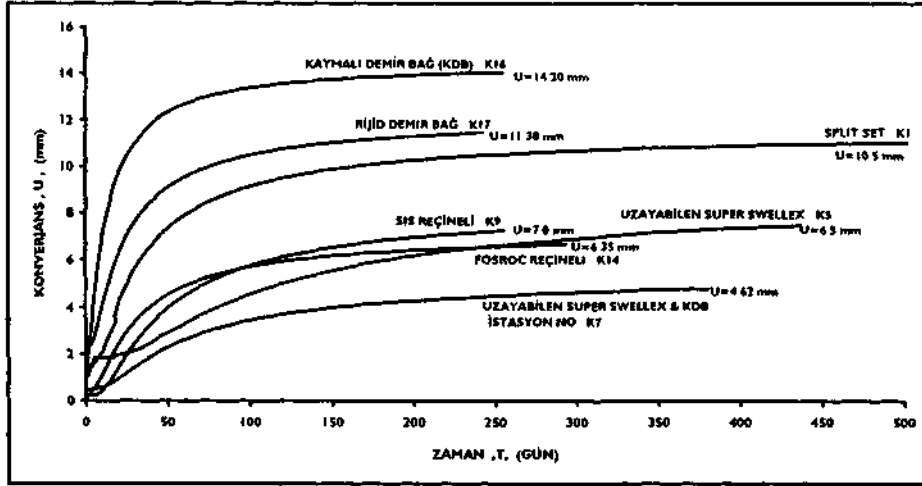
$$\frac{dU}{dT} = \frac{\partial U}{\partial X} \frac{dX}{dT} + \frac{\partial U}{\partial T} \quad [2]$$

$$\frac{dU}{dT} = \left\{ \left[A + B e^{-\frac{c}{(T+1)}} \right] e^{-\left(\frac{h_t}{(X+1)} \right)^{1.8}} \left(\frac{h_t^{1.8}}{(X+1)^{2.8}} \right) (1.8) \right\} \frac{dX}{dT} + \frac{Bc}{(T+1)^2} \exp \left[- \left(\left(\frac{h_t}{(X+1)} \right)^{1.8} + \frac{c}{(T+1)} \right) \right]$$

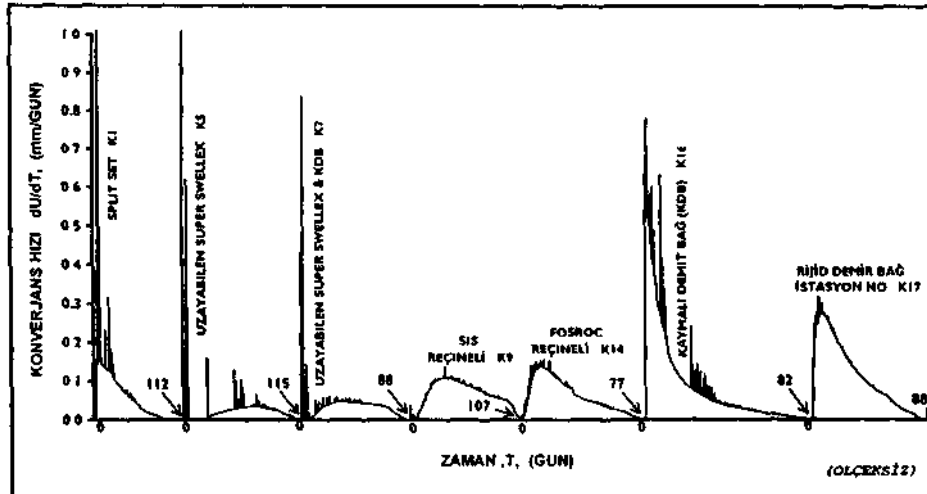
Eşitlik 1'deki fonksiyonun ikinci türevi alındığında konverjansın ivmesi:

$$\frac{d^2U}{dT^2} = \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X^2} \right) \left(\frac{dX}{dT} \right)^2 + 2 \left(\frac{\partial^2 U}{\partial T \partial X} \right) \left(\frac{dX}{dT} \right) + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial X} \right) \left(\frac{d^2 X}{dT^2} \right) + \left(\frac{\partial^2 U}{\partial T^2} \right) \quad [3]$$

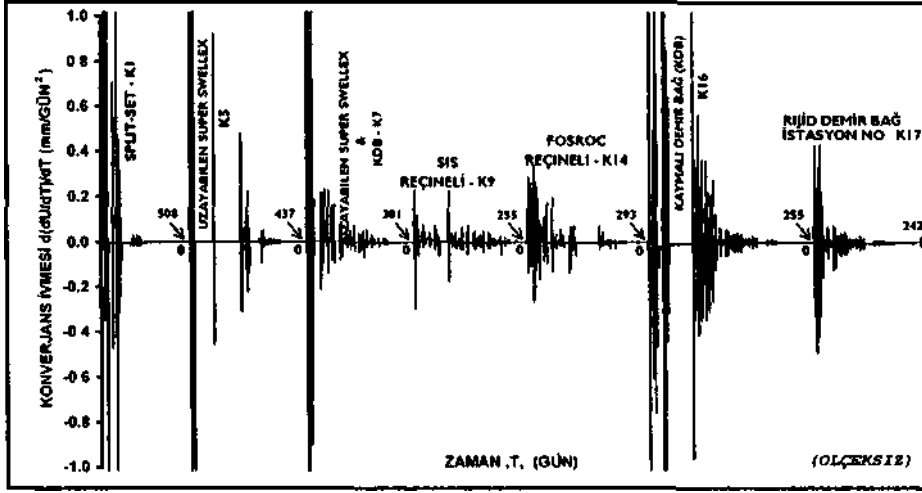
$$\begin{aligned} \frac{d^2U}{dT^2} = & \left\{ 18 \left[A + Be \frac{c}{(T+1)} \right] e^{\left(\frac{h_c}{(T+1)} \right)^{18}} \left[\frac{18h_c^{36}}{(X+1)^{36}} - \frac{28h_c^{18}}{(X+1)^{18}} \right] \right\} \left(\frac{dX}{dT} \right)^2 \\ & + \left\{ \frac{36Bch_c^{18}}{(T+1)^2(X+1)^{28}} \exp \left[- \left(\left(\frac{h_c}{(X+1)} \right)^{18} + \left(\frac{c}{(T+1)} \right) \right) \right] \right\} \left(\frac{dX}{dT} \right) \\ & + \left\{ \frac{18h_c^{18}}{(X+1)^{18}} \left[A + Be \frac{c}{(T+1)} \right] e^{\left(\frac{h_c}{(T+1)} \right)^{18}} \right\} \left(\frac{d^2X}{dT^2} \right) \\ & + \left\{ \frac{Bc}{(T+1)^2} \left(\frac{c}{(T+1)} - 2 \right) \exp \left[- \left(\left(\frac{h_c}{(X+1)} \right)^{18} + \frac{c}{(T+1)} \right) \right] \right\} \end{aligned}$$



Şekil 5. Matematiksel model ile bulunan konverjans grafikleri



Şekil 6 Matematiksel modelden elde edilen konverjans hızı grafikleri.



Şekil 7. Matematiksel modelden elde edilen konverjans ivmesi grafikleri.

6. TABAN YOLUNDA, UZUNAYAK PANOSUNUN ÜRETİMİ SIRASINDA OLUŞAN HAREKETLER

A08 Panosu Eylül-1997'de üretime geçmiş ve A-810 galerisi taban yolu olarak kullanılmaya başlanmıştır. İşletmenin çalışma yöntemine bağlı olarak taban yolu tahkimatı önce tavan ayağın sonra da taban ayağın geçişinden ötürü iki kez dinamik olarak etkilenmektedir. Bu etkileşim ve yaratacağı sonuçlar, araştırmanın ikinci aşaması sırasında (uzunayaklar ilerlerken) yapılan ölçümlerle incelemeye alınmıştır. Ekim 1997'de taban yolunda daha önce pilot uygulama yapılan farklı tahkimat bölgeleri içerisinde 19 adet konverjans ve 18 adet taban kabarması istasyonu kurulmuştur. Ölçümler 0.01 mm hassasiyetli konverjans ölçerle vardiyada bir kez (8 saatte bir) alınmaktadır. Halen devam eden çalışmaların 1998 yılı Haziran ayı içerisinde tamamlanması beklenmektedir. İlk dört aylık süre içinde yapılan ölçüm sonuçları, tüm tahkimat bölgelerinin duraylı olduğunu ve kaya saplama ile desteklenen bölgelerdeki konverjansın daha önceki yıllarda demir bağlarla desteklenen taban yollarındaki ölçümlere göre (İstanbulluoğlu, 1995) çok daha az olduğunu göstermektedir.

7. SONUÇLAR

Bu çalışmaların ışığında kaya saplama ile tahkimat tasarımında kullanılan tasarım yönteminin geçerliliği ve yeraltı uygulamalarında kullanılabilirliği kanıtlanmıştır; Tüm kaya saplama ile tahkimatın kaya kütlesi ile etkileşimi, demir bağlara göre daha erken olmuştur. Bu durum, kaya saplama ile tahkimatın kullanılan koşullardaki (galen açılırken) teknik üstünlüğünün bir göstergesidir; Halen devam etmekte olan çalışmaların ilk sonuçlarına göre uzunayağın etkisinde kalan tahkimatın kaya saplama ve 3 m aralıklı demir bağlarla yapılması durumunda taban yolunda oluşan konverjans, değerlerinin 1 metre aralıklı geleneksel demir bağ tahkimat kullanılarak desteklenen taban yollarına göre çok daha düşük olacağı anlaşılmaktadır.

8. KAYNAKLAR

- Bieniawski, Z.T. (1984), *Rock Mechanics Design in Mining and Tunneling*, Rotterdam, Balkema, 272 s.
- İstanbuluoğlu, S. (1995), *Strata Control Aspects at the Gate Roadways of OAL Underground Mine*, Doktora Tezi, ODTÜ-Ankara, 220 s.
- Ulusay, R. (1991), *Geotechnical Evaluations and Deterministic Design Considerations for Pitwall Slopes at Eskiliisar (Yatağan-Muğla) Strip Coal Mine*, Doktora Tezi, ODTÜ, Ankara, 340 s.
- Ünal E. (1983), *Development of Design Guidelines and Roof-Control Standards for Coal Mine Roofs*, Doktora Tezi, Penn. State University, USA, 355 s.
- Ünal E. (1989), Support Selection of Mine Roadways by Means of a Computer Program, *Proc. 30th US Symp. on Rock Mech.*, West Virginia University, Morgantown, pp. 943-952.
- Ünal E. (1992), Rock Reinforcement Design and its Application in Mining, *Proc. of the Int. Symp. on Rock Support*, Sudbury, Ontario, Canada, pp. 541-546.
- Ünal, E. (1996), Modified Rock Mass Classification: M-RMR System, Milestones in Rock Engineering, *The Bieniawski Jubilee Collection*, A.A. Balkema, Rotterdam, Broekfield, pp. 203-222.
- Ünal E. ve Ergür, K. M. (1990), PC Based Modelling of Rock Reinforcement Requirements in Mine Roadways, *31st US Symp. on Rock Mech.*, CSM Golden, Colorado, pp. 761-768.
- Ünal, E. ve Özkan, İ. (1990), Determination of Classification Parameters for Clay-bearing and Stratified Rock Mass, *9th Int. Conf. on Ground Control in Mining*, West Virginia University, Morgantown, pp. 250-259.
- Ünal, E., Özkan, İ., Ergür, M.K. (1994), *Türkiye Madencilik Endüstrisinde İleri Kaya Mekanik Uygulamaları: Kaya Saplamaları ile Tahkimat Teknolojisinin Geliştirilmesi*, TÜBİTAK Nihai Raporu, ODTÜ, Ankara, 226 s.
- Ünal, E., Ulusay, R., Özkan, İ., Gökçeoğlu, C., Çakmakçı, G., Sönmez, H. (1997a), *Rock Engineering Evaluations and Rock Mass Classification at Beypazarı Trona Site (Borehole TS-1 and TS-2)*, ODTÜ Proje No: AGUDÖS 97-03-05-01-02, Etibank, Nihai Rapor, 148 s.
- Ünal, E., Özkan, İ., Çakmakçı, G. (1997b), Support and Ground Interaction in Mine Roadways, *Proc. of Conf. on Rock Support*, Lillehammer, Norway, pp. 458-472.