

*Türkiye 12 Kömür Kongresi Bildiriler Kitabı, 23-26 Mayıs 2000, Zonguldak-Kdz. Ereğli, Türkiye*  
*Proceedings of the 12th Turkish Coal Congress, 23-26 May 2000, Zonguldak-Kdz. Ereğli, Türkiye*

## **TABAKALI FORMASYONLARDA SÜRÜLEN TABANYOLLARININ FİZİKSEL VE NÜMERİK MODEL YARDIMIYLA STABİLİTESİNİN İNCELENMESİ: DURUM ÇALIŞMASI**

### **PHYSICAL AND NUMERICAL MODEL INVESTIGATIONS INTO THE GATEROAD STABILITY DRIVEN IN STRATIFIED ROCK MASSES: A CASE STUDY**

Hüseyin Yavuz, Süleyman Demirel Üniversitesi, Müh. Mim. Fak. Maden Müh. Böl., 32260 İsparta

#### **ÖZET**

Tabakalı formasyonda açılan tahkimatsız bir tabanyolunun stabilite durumu bir fiziksel diğeri nümerik olmak üzere iki model ile ayrıca civata tahkimatının tabanyolu stabilitesi üzerine etkisi ise bir nümerik model ile incelenmiştir. Fiziksel modelin inşasında, bpyut analizine dayanarak belirlenmiş dayanım ölçek faktörü ve geometrik ölçek faktörlerine uygun olarak farklı agrega/alçı oranlarına su ilavesi ile üretilmiş plakalar yeraltı tabakalarını temsil etmek üzere kullanılmışlardır. Tabanyolunun nümerik modellemeL, Jide sonlu farklar yöntemine dayalı bir program olan FLAC kullanılmıştır. Fiziksel ve nümerik tabanyolu modellerinde tavan tabakalarının yenilmesi benzerlik arz etmekte fakat nümerik tabanyolu modelinin yan duvarlarında yenilme zonu derinliği daha fazladır. Tavan formasyonlarında tabakaların birbirinden ayrılarak yenilmesini önlemede tavan civatalarının ideal bir tahkimat sistemi olacağı nümerik model ile ayrıca gösterilmiştir.

#### **ABSTRACT**

Stability state of an unsupported gateroad driven in stratified rock mass was investigated by a physical and a numerical model, and also, the influence of rock bolts on the stability of gate road was investigated by a numerical model. In the construction of the physical model, slabs manufactured by adding water to the different ratios of sand/plaster as appropriate to the strength and geometric scale factor which were determined by dimensional analysis were used for simulation of underground strata. FLAC which is a finite difference program was used for the numerical modelling of gateroad. While both physical and numerical gate road models showed similarity for the yielding phenomena of roof strata, yielding zone depth in the sidewalls of numerical gateroad model was higher than that of the physical model. It has been also shown with a numerical model that roof bolts are an ideal support system for preventing the yielding of roof strata by separation from each other.

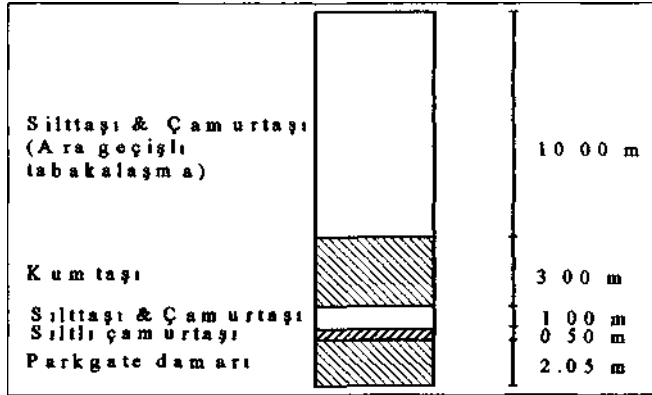
## 1. GİRİŞ

Kömür ocaklarında, kömür damarının tavan ve tabanındaki aynı veya farklı kayaç formasyonları genellikle tabakalaşma düzlemleriyle birbirinden ayrılmışlardır. Kayaların mekanik özellikleri gözönüne alındığında, tabakalar düşük çekme ve kesme dayanımına ve yüksek deformasyon özelliğine sahip olan bu zayıflık düzlemleri boyunca birbirinden ayrılırlar ve tahkimatsız galerilerde açıklığın içine doğru hareket ederler. Bu düzlemlerin ana geometrik karakteristikleri, düzgün geometriye sahip oluşları ve süreklilikleridir. Bunların yeraltı kömür madenciliğinde özellikle iki ana mühendislik özelliği tabanyollarında deformasyona sebep olur. Birincisi, tabakalaşma düzlemine dik yönde çok az veya sıfır çekme dayanımına sahip olmaları, ikincisi ise sağlam kaya ile karşılaştırıldığında çok az bir kesme dayanımına sahip olmalarıdır. Tabanyolunun çevresindeki kaya kütesinin kötü performansı ya anizotropik tabakaların yenilmesi veya süreksizlik düzlemi boyunca kaymanın bir sonucudur (Brady ve Brown, 1993).

Bu çalışmada, tabakalı kaya formasyonunda sürülen tabanyollarının stabilitesini etkileyen çoğu parametrenin dikkate alınmasını mümkün kılan iki metot fiziksel ve nümerik modelleme metotları kullanılmıştır. Bu iki modelleme tekniğinde aynı veya farklı kaya tabakaları ve tabakalaşma düzlemleri temsil edilebilmektedir. Her iki modelleme tekniğinde gerekli olan veri için, İngiltere'deki Bilsthorpe kömür ocağı esas alınmış ve tahkimatsız tabanyolunda meydana gelebilecek deformasyon ve yenilme zordan bu iki metot ile tahmin edilmiştir. Ayrıca nümerik modelleme tekniği ile tavan civataya tahkimatı sisteminin, farklı arazi gerilmeleri altındaki tabakalı tavanın stabilitesini sağlayıp sağlayamayacağı araştırılmıştır.

## 2. BİLSTHORPE OCAĞI TABANYOLLARININ SÜRÜLDÜĞÜ JEOLojİK YAPI

Bilsthorpe kömür ocağında, yaklaşık 660 metre derinlikte yatay ve düzgün dağılımlı Parkgate kömür damarının kazısı gerçekleştirilmektedir. Damar tavanındaki tabakalar sürülen tabanyolları boyunca çoğunlukla masif bir yapı sergilemekte olup şekil 1'de damar tavanındaki kaya türleri ve tabaka kalınlıkları gösterilmektedir. Sürülen tabanyolu dörtgen kesitli olup genişliği 5 metre yüksekliği ise, 2.05 metre kalınlıktaki kömür damarı ve 0.5 metre kalınlıktaki siltli çamurtaşının kazısı ile 2.55 metredir.



Şekil 1. Tabanyolu tavanının jeolojik yapısı

## 2. KAYA VE KÖMÜR KÜTLESİNİN MEKANİK ÖZELLİKLERİ

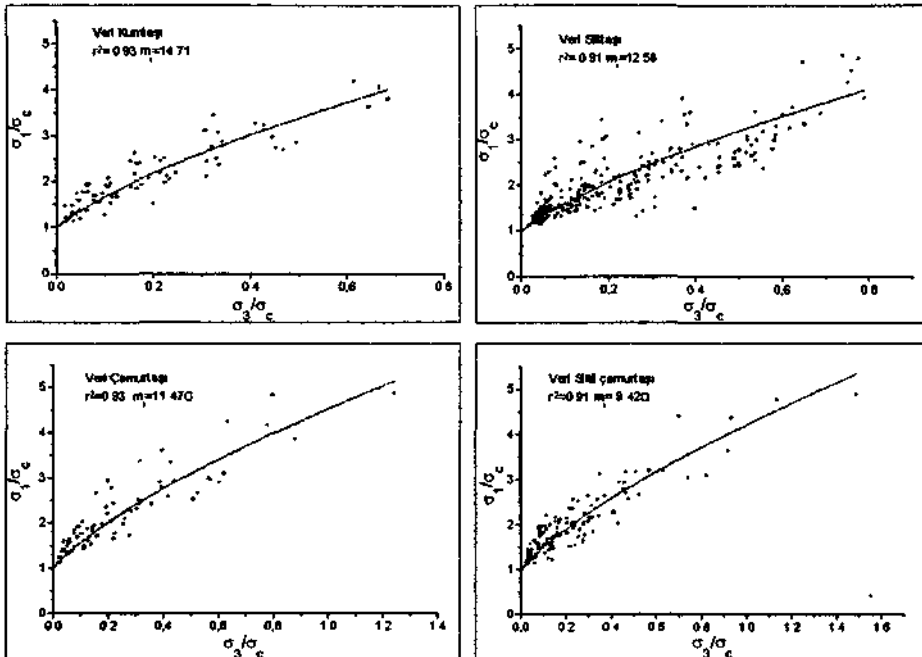
Bilsthorpe ocağı tabanyolu tavanındaki tabakalaşma düzlemleri arasında kalan kaya kütleleri, sağlam kayanın tek eksenli basınç dayanımı, kaya kalitesi (RQD), süreksizlik aralığı ve durumunu ve yer altı su durumunu gözönünde bulunduran RMRg9 (Kaya Kütle Değeri) sınıflandırma

sistemine tabi tutulmuş ve RMR değeri 90 olarak bulunmuş olup çok iyi kaya sınıfına girmektedir. Esterhuizen (1997) bu sınıflandırma sistemini kömür kütleleri için uygulamış ve süreksizliklerin durumuna bağlı olarak kömür kütlelerini sınıflandırmıştır. Bu sistem kullanılarak Bilsthorpe ocağı kömür daman sınıflandırılmış ve RMR değeri 51 olarak bulunmuştur.

Kaya ve kömür kütlelerinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri Hoek-Brown yenilme kriterleri kullanılarak hesaplanmıştır. Sağlam kaya için HoekBrown eşitliği kayanın tek eksenli basınç dayanımı ile normalize edilmiş halde

$$\frac{\sigma_1}{\sigma_c} = \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + \left( m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + 1 \right)^{0.5} \quad [1]$$

şeklinde dir. Eşitlikte  $\sigma_c$ : numunenin tek eksenli basınç dayanımı,  $\sigma_1$  ve  $\sigma_3$ : büyük ve küçük asal gerilmeler,  $m_b$ : kaya türüne bağlı bir sabittir. Kumtaşı, silttaşı, çamurtaşı ve siltli çamurtaşı için üç eksenli basınç deneyiyle test edilen her bir numune grubunun verileri şekil 2'de normalize formda gösterilmektedir. Bu kaya türlerinin  $m_b$  sabitlerini bulmak amacıyla eşitlik 1 Origin adlı grafik programında yazılmış olup bulunan değerler ve korelasyon katsayıları şekilde verilmektedir.



Şekil 2. Üç eksenli basınç deney sonuçlarına göre  $m_b$  değerleri

Kaya kütlelerinin kohezyon ve içsel sürtünme açısı değerleri aşağıda verilen Hoek-Brown eşitliği kullanılarak bulunmuştur (kohezyon ve içsel sürtünme açısının bulunmasında kullanılan eşitlikler detaylı olarak Hoek ve arkadaşları (1995) kaynağından bulunabilir).

$$\sigma_1 = \sigma_3 + \sigma_c \left( m_b \frac{\sigma_3}{\sigma_c} + s \right)^2 \quad [2]$$

Eşitlikte 'a' kaya bloklarının gevşek veya sıkı durumda oluşuna göre bir değer alır. Birbirine iyi kenetlenmiş bloklar için Hoek ve arkadaşları (1995) tarafından 0.5 değeri önerilmiştir, mb kaya kütlesi için materyal sabiti olup Hoek ve arkadaşları (1995) tarafından önerilen Jeolojik Dayanım İndeksine (GSI=RMR«>-5) bağlı olarak

$$\frac{m_b}{m_i} = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9}\right) \quad [3]$$

eşitliği ile s ise kaya kütlesinin jeolojik karakteristikleri ile ilgili bir sabit olup eklemli kaya kütlesi için değeri

$$s = \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right) \quad W$$

eşitliği ile belirlenebilir. Bu değer kömür kütlesi için hesaplanmasında büyük ölçekteki küp numunelerle gerçekleştirilen basınç dayanımı test değerleri kullanılmıştır (Yavuz, 1999). Farklı kaya kütlelerinin ve kömür kütlesinin mekanik ve elastik özellikleri Tablo 1'de toplu olarak verilmektedir.

Tablo 1. Kaya kütlelerinin ve kömür kütlesinin mekanik ve elastik özellikleri

Kütle türü	Kum taşı	Çamurtaşı	Siltli-çamurtaşı	Sılttaşı	Kömür
UCS, (MPa)	83	58	55	63	20
GSI	85	85	85	85	46
M.	14.71	11.47	9.42	12.58	8.06
Mb	8.61	6.71	5.51	7.36	1.17
S	0.189	0.189	0.189	0.189	0.055
A	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
UCS <sub>r</sub> (MPa)	37.54	25.96	24.37	28.29	4.78
teşel sürtünme açısı (derece)	47	45	42	45	27
Kohezyon (MPa)	7.34	5.46	5.42	5.794	1.44
Çekme dayanımı (MPa)	182	1.63	1.8	1.61	0.7
Elastik modülü (GPa)	21.1	14	15.8	21.58	2.5
Poisson oranı	0.21	0.28	0.23	0.22	0.3

Sağlam kayanın tek eksenli, " Kaya kütlesinin tek eksenli basınç dayanımı

Tabakalaşma düzlemlerinde kayma, sürtünen duvarlar arasındaki sürtünme açısı ve kohezyona bağlıdır. Bartonun pik kesme dayanımı teorisi bu değerlerin tahmininde kullanılmış olup aşağıdaki gibidir.

$$\tau = \sigma_n \left( \phi_r + JRC \log_{10} \left( \frac{JCS}{\sigma_n} \right) \right) \quad [5]$$

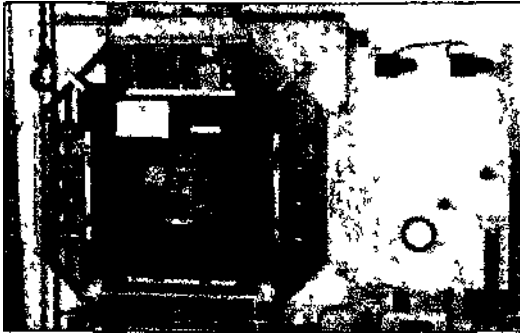
EşMikte(T<sub>r</sub>):eklem yüzeyine dik normal kuvvet,  $\phi_r$ :eklem yüzünün kaka sürtünme açısı, JCS: eklem duvarının basınç dayanımı, JRC: eklem duvarının pürüzlülük sayısı. Kumtaşının JCS değeri 83 MPa ve JRC değeri 6.5 için eşitlik 5'te normal gerilmenin artan değerleri için ortalama sürtünme açısı ve kohezyon değerleri ile normal ve kesme katılığı (stiffness) değerleri Tablo 2'de verilmektedir.

Tablo 2. Tabakalaşma düzlemlerinin kesme dayanımı ve katılık (stiffness) özellikleri.

Tabakalaşma düzlemlerinin kesme dayanımı ve katılık (stiffness) özellikleri	
Kohezyon (MPa)	Kalıcı sürtünme açısı (derece)
0.18	33
Normal katılığı (stiffness) (GPa/m)	Kesme katılığı (stiffness) (GPa/m)
2.79	1

### 3. FEZİKSEL MODEL MATERYALİ VE METODU

Fiziksel modelin boyutları, dayanım özellikleri ve modele uygulanacak gerilme değerleri, geometrik ölçek faktörü, boyut analizine dayanarak belirlenmiş dayanım ölçek faktörü ve gerilme ölçek faktörü ile belirlenmiştir. Geometrik ölçek faktöründe esas modelin herhangi iki noktası arasındaki mesafenin ( $L_m$ ) prototipteki aynı iki nokta arasındaki mesafeye ( $L_p$ ) oranı sabit bir değer taşımaktadır. Geometrik ölçek faktörü ( $i$ ) diğer faktörlerden bağımsız, ekonomik ve laboratuvar şartlarına bağlı olarak yukarıda ifade edilen  $W/L_p$  oranı ile belirlenir. Şekil 3'te model test makinesi ve model gösterilmektedir. Modele ideal olarak düşey yönde 6 piston ve aktarma plakası vasıtasıyla ölçekli düşey arazi basıncı, yatay yönde ise 8 piston ve aktarma plakası vasıtasıyla ölçekli yatay arazi basma uygulanabilmektedir. Model kutusu kare kesitli, kenar uzunluğu 61 cm, eni ise 12.7 cm olup 1/50 ile 1/100 geometrik ölçekler arasında değişen model çalışmaları için uygundur. Bu çalışmada, prototip tabakaların toyrılandırılmasında geometrik ölçek faktörü ( $\ell$ ) 1/50 olarak seçilmiştir.



Şekil 3. Fiziksel model test makinesi

Dayanım ölçek faktörü ( $s$ ) boyut analizi yöntemi kullanılarak bulunmuş olup

$$s = \gamma \cdot \ell \quad [6]$$

eşitliği ile belirlenir. Eşitlikte  $\gamma$  : birim hacim ağırlık ölçek faktörü olup model malzemesinin birim hacim ağırlığının kayarım birim hacim ağırlığına oranıdır. Model malzemesinin  $15 \text{ kN/m}^3$  ortalama yoğunluğu, kayarım  $25 \text{ kN/m}^3$  ortalama yoğunluğu için bu faktör 1/1.66 olarak bulunur. Model malzemesinin ölçeklendirilmesinde dayanım ölçek faktörü eşitlik 6'dan,

$$s = \left( \frac{1}{1.66} \right) \left( \frac{1}{50} \right) = \frac{1}{83} \text{ olarak bulunur.}$$

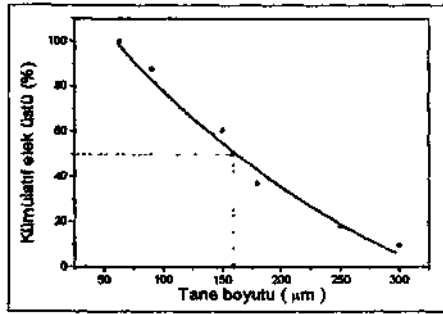
Kayarım elastik modülü ve çekme dayanımının model malzemesi ile en iyi mertebe sirkülasyonunda Buckinghamın Pi teorisine göre boyutsuz hale getirilen,

$$\frac{E_p}{\sigma_{cp}} = \frac{E_m}{\sigma_{cm}} \quad \text{ve} \quad \frac{\sigma_{cp}}{\sigma_{cp}} = \frac{\sigma_{cm}}{\sigma_{cm}}$$

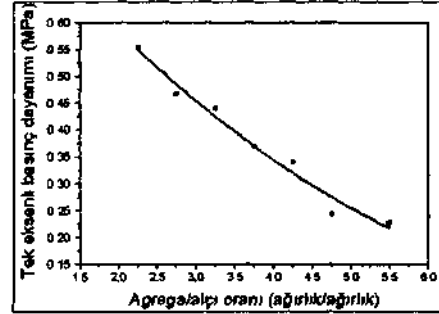
[7]

oranlan prototip ve modelde birbirine yalan değerlerde olmalıdır (Hobbs, 1967). Eşitlikte E : elastiklik modülü,  $\sigma_c$  basınç dayanımı, ovçekme dayanımı, alt simgeler p ve m ise sırasıyla prototip ve model malzemesini temsil etmektedir. Kayanın içsel sürtünme açısı ve Poisson oranı boyutsuz büyüklükler olduğundan model ve prototipte aynı değerde olmalıdır.

Simülasyon gereklerine uygun model malzemesinin hazırlanmasında alçı, kum ve su kullanılmıştır. Kullanılan ince boyuttaki kumun elek üstü tane boyutu dağılım grafiği Şekil 4'te görülmektedir. Agreganın yüzde ellisinin elek altına geçtiği elek açıklığı 160  $\mu$ m' dir. Karışım içerisindeki ağırlıkça su/alçı oranı 0.46, ağırlıkça su/agrega oranı ise 0.25 olup agrega/alçı oranına bağlı olarak karışımın kalıba dökülebilir uygun kıvamda olması için gerekli su miktarı bu oranlardan hesaplanmıştır. Model malzemesinin farklı agrega/alçı oranlarındaki karışımının basınç dayanımını belirlemek üzere çapı 50 mm genişliği ise 100 mm olan plastik tüpler, Brazilian çekme deneyi ile çekme dayanımını belirlemek için çapı 50 mm genişliği ise 25 mm olan plastik tüpler numunelerin hazırlanmasında kullanılmışlardır. Numuneler kalıplara döküldükten bir gün sonra kalıplardan çıkarılmış ve havalandırılmalı finnlarda 55-60 derece sıcaklıkta ağırlığında herhangi bir değişikliğin olmadığı yani numune bünyesindeki serbest suyun tamamen uzaklaştırıldığı 14 güne kadar küre tabi tutulmuşlardır. Numunenin tanjant modülü ve Poisson oranı değerlerini belirlemek için basınç testine tabi tutulacak numuneler üzerine birim deformasyon ölçerler yerleştirilmiştir. Agregal/alçı oranı 2.25 ile 5.5 arasında değişen numunelerin, basınç dayanımları 0.55 MPa ile 0.23 MPa arasında değişmekte olup şekil 5'te gösterilmektedir.

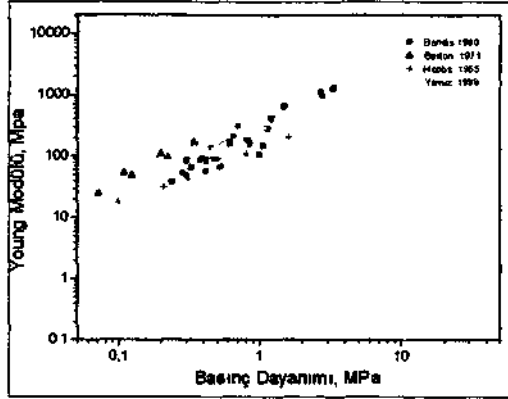


Şekil 4. Model malzemesinin hazırlanmasında kullanılan agreganın tane boyutu dağılımı

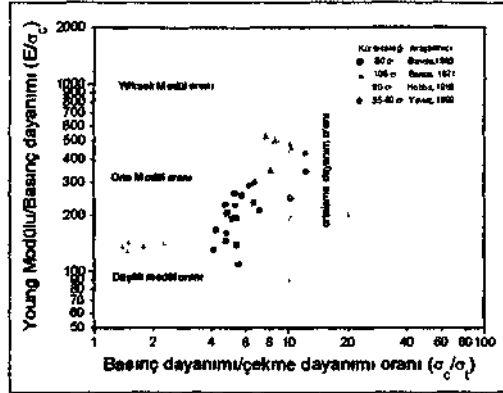


Şekil 5. Model malzemesinin basınç dayanımının agrega/alçı oranı ile değişimi

Model malzemesinin Poisson oranı 0.15 ile 0.30 arasında değişmektedir. Yenilme noktasına kadar malzemenin gösterdiği maksimum birim deformasyon %0.3 ile %0.55 arasında değişmektedir. Bu değerler genel olarak kaya numunelerinde ölçülen değerleri temsil edebilir. Kayaların basınç dayanımı/çekme dayanımı oranı genellikle 10 ile 20 arasında değişmektedir (Lama ve Vutukuri, 1978). İngiliz kömür ocakları için elastiklik modülü/basınç dayanımı oranı 300 ile 400 arasında değişmektedir. Model malzemesinin sözkonusu oranları başarılı olarak temsil ettiği şekil 6 ve seldi 7'de görülmektedir. Önceki kullanılan model malzemeleri ile karşılaştırıldığında düşük sıcaklıkta üretilen bu model malzemesinin dayanım oranı ve modül oranında olumlu olarak bir artış gözlenmektedir.



Şekil 6. Basınç dayanımı Young modülü ilişkisi



Şekil 7. Model malzemesinin modül oranı ile dayanım oranı aralıkları

Model geometrik boyutları prototiple aynı ise model kenarlarına uygulanacak gerilme değeri dayanım ölçek faktörü ile belirlenebilir. Fakat küçük geometrik ölçekte hazırlanan modellerde malzemenin yenilme değerinin boyuta bağımlılığından dolayı ya malzemenin dayanımının azaltılması ya da modele uygulanan gerilmelerin artırılması gerekir. Küçük ölçekli modeller için gerilme ölçek faktörü, geometrik ölçek faktörü ve dayanım ölçek faktörüne bağlı olarak Hobbs (1967) tarafından önerilen aşağıdaki eşitlik yardımıyla bulunabilir.

$$\sigma = s \cdot \ell^{-n} \quad [8]$$

Eşitlikte  $a$ : gerilme ölçek faktörü,  $n$ : kaya türüne bağlı bir sabit olup, model numunelerle Yavuz (1999) tarafından yapılan testlerde 0.18 olarak bulunmuştur. Dayanım ölçek faktörü 1/83 ve geometrik ölçek faktörü 1/50 için gerilme ölçek faktörünün yaklaşık değeri eşitlik 8'den 1/40 olarak bulunur.

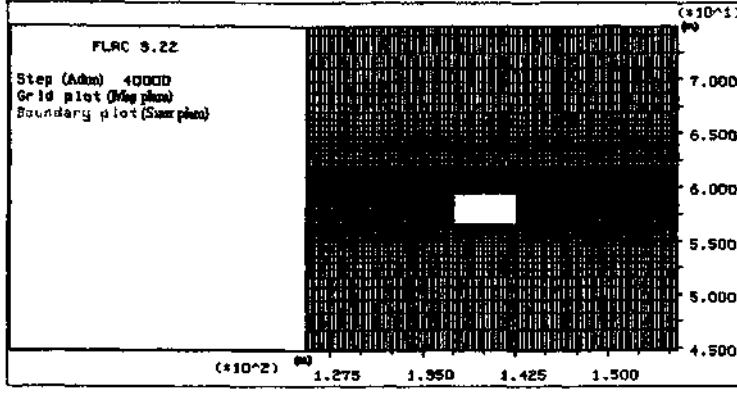
#### 4. NÜMERİK MODELLEME METODU

Tabakalı bir formasyonda sürülen tabanyolunun nümerik modellemesinde sonlu farklar yöntemine dayalı bir program olan FLAC (Itasca, 1993) kullanılmıştır. Tabanyolunu içine alan sonlu boyutta bir kesit seçilerek bu kesit kazı etrafında küçük boyutlu kazıdan uzaklaştıkça ise boyutu artan elementlere bölünmüştür. Açıklık etrafındaki gerilme dağılımından model kenarlarının etkilenmesini önlemek amacıyla, modelin boyutları düşey yönde 120 m yatay yönde ise 280 m olarak seçilmiştir. Model analizin duyarlılığını artırmak amacıyla 24000 element teşekkül edilmiş olup elementlerin kenar uzunluklarının oranı açıklık çevresinde bire yakındır. Tabakalaşma düzlemleri ise modelde temsil edilmiş olup şekil 8 de gösterilmektedir. Model kenarlarına düşey yönde derinlikten kaynaklanan düşey gerilme, yatay yönde ise yatay arazi gerilmesi uygulanmıştır. Materyal model, malzemenin kesme dayanımının aşılmasıyla yenildiği Mohr-Coulomb plastiktik modelidir. Bu modelde malzemenin dayanımının aşılması üzerine malzemenin kohezyonunda ve içsel sürtünme açısından herhangi bir değişiklik yapılmaz malzeme ideal plastik bir davranış sergilemektedir. Malzemenin kesme dayanımı büyük ve küçük asal gerilmelerin ( $\sigma_1$  ve  $\sigma_3$ ) aktif olduğu Mohr-Coulomb kırılma kriteri tarafından belirlenir.

Malzemenin yenilip yenilmediğini belirleyen kesme yenilmesi fonksiyonu ( $f_y$ );

$$f_y = \sigma_1 - \sigma_3 \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} + 2c \sqrt{\frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}} \quad [9]$$

şeklinde olup eşitlikte  $c$ : malzemenin kohezyon,  $\phi$ : içsel sürtünme açısı değeridir.  $f_s < 0$  durumunda kesme yenilmesi oluşacaktır.



Şekil 8. Model meş, tabanyolu ve arayüzler

## 5. FİZİKSEL VE NÜMERİK MODEL SONUÇLARI

Geometrik ölçek faktörü 1/50 ve dayanım ölçek aktörü 1/83 baz alınarak üretilmiş plakalar kalıba dökülüp finnda kür edildikten sonra model kutusu içerisine yerleştirilmişlerdir. Şekil 9'da modelin, model plakaların ve model tabanyohunun boyutları verilmektedir. Modele 0.15 MPa düşey gerilme uygulandığında açıklık yanduvvarlarında derinliği fazla olmayan kavrak şeklinde dökümler gözlenmiş, 0.27 MPa gerilme uygulandığında ise bu derinlik artarak yenilmiş model malzemesi açıklığın yüzde kırkını kapatmıştır. Tavanda deformasyon oluşmasına rağmen tavandaki ilk plaka 0.3 MPa gerilme değerinde yenilerek diğer tavan tabakalarından ayrılmıştır. Şekil 10'da görülebileceği gibi 0.4 MPa (prototip 16 MPa) gerilme değerinde birinci ve ikinci tavan plakaları yenilerek açıklığın içine doğru ilerlemektedir. Dikkate değer husus tavan tabakalarının 0.27 MPa düşey basınca kadar elastik deformasyon özelliği göstermesi, daha yüksek basınçlarda yenilerek plastik davranış göstermesi ve düşey konverjans değerindeki dikkate değer artıştır. Yanduvarda yenilme zonu derinliği ise prototip ölçekte 0.8 m olarak tavanda ise 1 m olarak gözlenmiştir.

MODEL KAYA		PLAKA KALINLIĞI
Korunak		40 mm
Çamurtaş		40 mm
Silttaş		30 mm
Çamurtaş		30 mm
Silttaş		30 mm
Çamurtaş		30 mm
Korunak		20 mm
Korunak		20 mm
Korunak		20 mm
Silttaş		30 mm
Çamurtaş		30 mm
Silttaş		30 mm
Silttaş		30 mm
Tabanyolu		Korunak 40 mm
		SİLİT ÇİMENTİ 29 mm
		Çamurtaş 20 mm
		Silttaş 30 mm
		Çamurtaş 30 mm
		Silttaş 40 mm
		Çamurtaş 40 mm
		Silttaş 50 mm
		Çamurtaş 50 mm

255 mm 100 mm 255 mm

300 mm 150 mm 300 mm

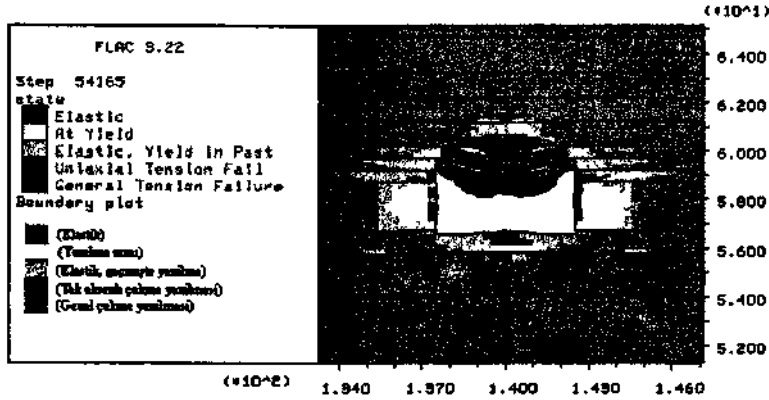
Şekil 9. Model, model plakalar ve tabanyohunun geometrik boyutları



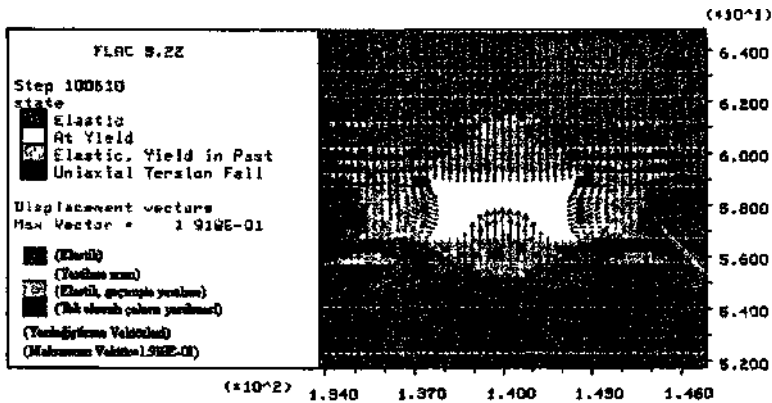
Şekil 10. Fiziksel model tabanyolu çevresindeki yenilme zordan



Nümerik model meşi üretildikten sonra arazi gerilmelerinin kazıdan önce modelde dengeye ulaşmasını sağlamak amacıyla program çalıştırılmıştır. Dengeye ulaşıldıktan sonra düğüm noktalarındaki yerdeğistirmeler sıfırlanmış kazıdan sonra program tekrar yük dengesine ulaştırmak amacıyla çalıştırılmıştır. Fakat bu modelde, herhangi bir tahkimat basıncı kazı çeperlerine uygulanmadığından dolayı yük dengesi sağlanamayacaktır. Ancak dengede olmayan yükler minimum oluncaya kadar program çalıştırılmıştır. Şekil 11'de 16 MPa düşey arazi gerilmesine maruz model tabanyolu etrafındaki yenilme zonları gösterilmektedir. Yanduvardlarda yenilmiş kömürün derinliği 1.75 metre olup fiziksel modele göre daha fazladır. Bunun nedeni kömür daman ile üzerindeki tabaka arasındaki arayüzdeki sürtünme açısının yüksek olması olabilir. Tavan tabakalarındaki yenilme ise fiziksel modele benzer olarak iki tabakanın diğer tabakalardan ayrılması şeklindedir. Taban kabarması ise tavan deformasyonuna nazaran dikkate değer olmayıp açıklığın ortasındaki kısımlarda çekme yenilme zonları oluşmuştur. Tabakalı bir ortamda sürülen tabanyolu tavanındaki deformasyonlar tavan saptamaları kullanılarak giriş kalınlığı artırılıp elastik limite tutulabilir. Aynı zamanda tabakaların yenilmesi önlenecektir. Tavanın tavan saptaması ile kontrolünün sağlanıp sağlanmayacağını kontrol etmek amacıyla model tabanyolunun tavanına 2.4 m uzunlukta ve genişliği boyunca 0.5 m aralıklarla 5 resin ankorlu tavan civatası yerleştirilmiştir. Bu modeldeki deformasyon zonları Şekil 12'de görüldüğü gibi özellikle tavanda dikkate değer şekilde azalmıştır.



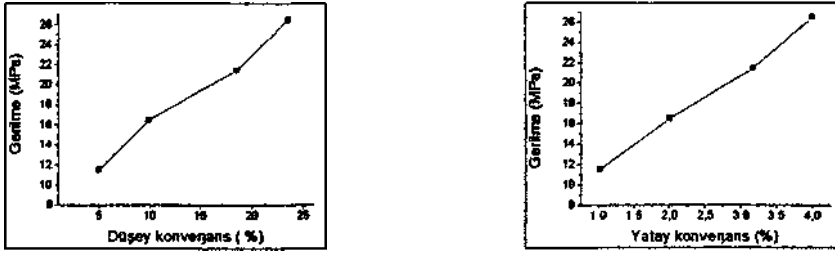
Şekil 11. Tahkimatsız tabanyolu çevresindeki yenilme zonları (nümerik model)



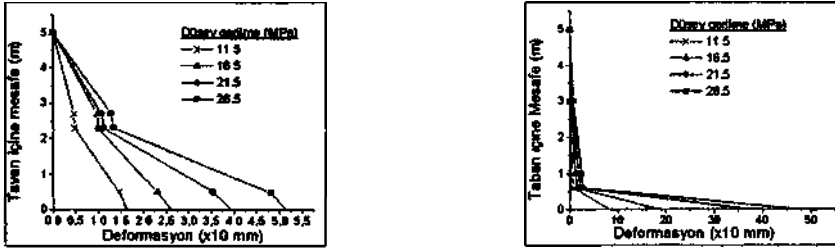
Şekil 12. Tavan civata tahkimatlı tabanyolu çevresindeki yenilme zonları (nümerik model)

Şekil 13'te görüldüğü üzere tabanyolunun düşey ve yatay konverjans değerleri derinliğe bağlı olarak artmaktadır. Şekil 14'te ise tavanda 5 m tabakalar içerisine doğru oluşacak deformasyon değerleri verilmektedir. Deformasyon özellikle tavan içine doğru 2.5 m içinde gerçekleşmektedir. Tabandaki

deformasyon ise 0.5 m içinde ve 19 cm olarak gerçekleşmektedir. Tavan saplamaları bütün gerilme değerlerinde iyi bir performans göstererek yenilme zonu oluşumunu önlemektedir.



Şekil 13. Yatay ve düşey konverjansın arazi gerilmeleri ile değişimi



Şekil 14. Tavan ve taban tabakaları içerisindeki deformasyon

## 6. SONUÇ

Tabakalı kayalarda sürülen tabanyollarında meydana gelebilecek deformasyon ve yenilme zordan fiziksel ve nümerik modeller ile Bilsthorpe kömür ocağı formasyonlarında sürülen tabanyolu yapılan baz alınarak incelenmiştir. Tabakalı kayaların ve tabaka düzlemlerinin fiziksel ve nümerik modellenmesi prensipleri kısaca bahsedilmiş olup iki yöntem karşılaştırılmıştır. İki modelden de benzeri sonuçlar elde edilmiş olup tabanyolu tavan tabakalarının stabilitesi tabaka kalınlığına ve sürülecek galerinin genişliğine bağlı olacaktır. Bu çalışmada verilen parametreler için tavan stabilitesi reçine ankorlu tavan civataları ile sağlanabilmektedir. Parametrelerin değişiminin (Tabaka kalınlığı, tabanyolu genişliği, kaya ve kömür kütlelerinin mekanik özellikleri, arayüzeylerin kesme dayanımı ve kanlık (stiffness) özellikleri gibi) tabanyolu stabilitesi üzerine etkisi detaylı incelenmesi gereken bir konudur.

## 7. KAYNAKLAR

BirdyBltt G aaidBiwn E. T: (1993), *Rock Mechanics for Under* &HalL,p.571.

EsternuBen G. S: (1997), *Investigations Into the Effect ofD)scclinuinö«rtbe Strength of Coal Pillars* Alhcan Institute ofMining and Metallurgy, Vol 97, No. 2, pp. 57-61.

BâbbsD. W: (19 ^ ScateMoca Studies of Strata MovoneiUAioundM^ Closure Upon Rock Strength. National Coal Board, MRDE Report No. 2311.

HoekE,KaiserP.KandBawdCTW.R(1995),Sıç^

Itasca Consulting Group be : (1993), *FLAC User's Manual Vols. L IL flf.*

LainaRDandVutnkuriV.S: (1978), *Handbock on Mechanical Properfe* Tech Publications, Vol2.

Yavuz H: (1999), *Physical and Numerical Modelling of Pillar Protected Mire Roadways. PI©. Thesis, Lee\** p.252