



Kaya Mekaniği Bülteni Kasım 1993

9

Yeraltı Açıklıklarının Kaya Ankurları ile Tahkimi

Ö. AYDAN

**Proje Parametrelerinin Değerlendirilmesi ve
İnteraksiyon Matrisi**

M.K. GÖKAY

**Schmidt Çekici Ölçme Yöntemlerinin İstatistiksel
Karşılaştırılması**

**C. AYDAY
R.M. GÖKTAN**

Uluslararası Kaya Mekaniği Sempozyumu Yapıldı



TÜRK ULUSAL KAYA MEKANİĞİ DERNEĞİ

YÖNETİM KURULU

Başkan	: Prof.Dr. A.Günhan PAŞAMEHMETOĞLU	(Maden Müh.Böl., ODTÜ)
Başkan Yardımcısı	: Hasan ŞİŞMAN	(DLH Gn.Md.lüğü, ANKARA)
Genel Sekreter	: Prof.Dr. Abdurrahim ÖZGENOĞLU	(Maden Müh.Böl., ODTÜ)
Sayman	: Bülent ERDEM	(Maden Müh.Böl., ODTÜ)
Üye	: Prof.Dr. Seyfi KULAKSIZ	(Yerbilimleri Enst., H.Ü.)

DENETİM KURULU

Doç.Dr. Aydın BİLGİN	(Maden Müh.Böl., ODTÜ)
Dr. Reşat ULUSAY	(MTA Gn.Md.lüğü, ANKARA)
Mehmet ALTINTAŞ	(DLH Gn.Md.lüğü, ANKARA)

YAYIN KURULU

Yönetim Kuruludur.

YAZIŞMA ADRESLERİ :

- # Prof.Dr. Abdurrahim ÖZGENOĞLU
Genel Sekreter
Maden Mühendisliği Bölümü, ODTÜ
06531 ANKARA
Tel : (312) 2101000 / 2655
Fax : (312) 2101265
- Türk Ulusal Kaya Mekanik Derneği
P.K. 311
06423 Kızılay - ANKARA

**Kaya Mekaniği
Bülteni
Kasım 1993**

9

Yeraltı Açıklıklarının Kaya Ankurları ile Tahkimi

Ö. AYDAN

**Proje Parametrelerinin Değerlendirilmesi ve
İnteraksiyon Matrisi**

M.K. GÖKAY

**Schmidt Çekici Ölçme Yöntemlerinin İstatistiksel
Karşılaştırılması**

**C. AYDAY
R.M. GÖKTAN**

Uluslararası Kaya Mekaniği Sempozyumu Yapıldı

Yazım İlkeleri

"Kaya Mekaniği Bülteninde yayımlanması için gönderilecek olan yazılar teorik ve uygulamalı kaya mekaniği dalında özgün (orjinal) araştırmalar, derleme, eleştiri ve tanıtma amaçlı çalışmaları veya çevirileri kapsayabilir.

Yazılar, şekiller, fotoğraflar ve çizelgeler 2 nüsha olarak gönderilmeli, metin 2 satır aralıkla daktilo ile yazılmış olmalıdır.

Başlıklar kısa, konuyu en iyi belirtebilir ve olabilirse 10 sözcüğü geçmeyecek şekilde seçilmelidir.

Şekiller teknik çizim normlarına uygun olarak çini mürekkep ile aydınlatılmış kağıdına veya beyaz kuşe kağıt üzerine çizilmelidir.

Fotoğraf parlak kartlara siyah-beyaz ve kontrastlı basılmalıdır. Şekil, fotoğraf ve çizelge altları ayrı bir kağıt üzerine sırasıyla yazılmış olmalıdır.

Yararlanılan kaynaklar alfabetik sıralamayla düzenlenmelidir.

Gönderilen çalışmanın bültende yayımlanabilmesi yayın kurulu'nun olumlu kararına bağlıdır.

Okurlarımıza,

Uzunca bir aradan sonra tekrar sizlerle birlikte olmaktan mutluyuz. Bu sayımızda yer alan yazılara kısaca değinmeden önce siz okurlarımıza bir çağrıda bulunmak istiyoruz. Derneğimizin tek yayını olan Kaya Mekaniği Bülteni'nin düzenli olarak çıkartılabilmesi ancak sizlerden gelecek yazılarla mümkündür. Bültenimizin yaşaması için katkılarınızı bekliyoruz.

Bu sayımızda yer alan üç makaleden ilki sayın Doç.Dr. Ömer AYDAN'ın "Yeraltı Açıklıklarının Kaya Ankorları İle Tahkimi" başlıklı yazısıdır. Sayın Aydan bu çalışmada kaya ankorları ile yeraltı açıklıklarının tahkimi üzerine yeni bir çözüm önermekte ve birkaç tipik uygulamanın sonuçlarını tartışmaktadır.

Bültenimizde yer alan ikinci makale ise sayın Dr. M.Kemal GÖKAY'a ait. "Proje Parametrelerinin Değerlendirilmesi ve Interaksiyon Matrisi" konulu çalışmada J.A.HUDSON tarafından 1992 yılında geliştirilen interaksiyon matris karar verme konusu ve bunun madencilik dalındaki uygulamaları anlatılmaktadır.

Sayın Y.Doç.Dr. Can AYDAY ve sayın Doç.Dr. R.Mete GÖKTAN tarafından kaleme alınan "Schmidt Çekici Ölçme Yöntemlerinin İstatistiksel Karşılaştırılması" konulu yazı bültenimizin son makalesi. Bu çalışmada, E.Schmidt tarafından 1948 yılında beton yüzey sertliğini ölçmek amacıyla geliştirilen Schmidt çekicinin kaya mekaniği çalışmalarında da kullanılması için geliştirilen üç değişik yöntem anlatılmakta ve bu yöntemlerin istatistiksel karşılaştırılması verilmektedir.

Bültenimizin sonunda okurlarımıza faydalı olacağını düşündüğümüz bir haber yer almaktadır. Derneğimiz tarafından 5-7 Nisan 1993 tarihlerinde İstanbul'da gerçekleştirilen Uluslararası Kaya Mekaniği Sempozyumu ile ilgili haberler ve sempozyum kitabında yer alan bildirilerin bir listesi verilmektedir.

Gelecek sayılarda buluşmak üzere tüm üyelerimize ve okurlarımıza saygılarımızı sunarız.

Yönetim Kurulu

Yeraltı Açıklıklarının Kaya ankorları ile Tahkimi

Ö. Aydan

Tokai University

Department of Marine Civil Engineering

Orido 3-20-1, Shimizu, 424, Japan

Abstract

In this paper, an analytical solution for the reinforcement of underground openings in axisymmetric state of stress by partially grouted rock anchors is proposed and its application to some typical cases is presented and discussed .

Özet

Bu çalışmada, kaya ankorları ile yeraltı açıklıklarının tahkimi üzerine yeni bir çözüm önerilmekte ve birkaç tipik örnekler uygulanmakta ve tartışılmaktadır.

1. GİRİŞ

Çeşitli tip kaya ankorları (rock anchors) yeraltı ve yerüstü kaya yapılarının duraylılığını temin etmede yaygınca kullanılmaktadır. Bunlar genellikle kayaya ya mekanik olarak yada harçla (beton veya reçine) ankraj edilirler. Harç tipi ankraj özellikle zayıf kayalarda ankraj kısmında yüksek gerilim yoğunlaşmasından kaçınmak amacıyla yaygınca kullanılmaktadır. Kaya ankorları nervürlü çelik çubuk veya çelik halatlardan yapılır. Genellikle çelik halat tipi ankorlar depolama ve kayaya yerleştirmedeki kolaylıktan dolayı tercih edilmektedir. Mamafih, her iki tip kaya ankorları mekanik modeli aynıdır. Kaya ankorları kayaya yerleştirildikten sonra bir öngerilime tabi tutulabilirler. Bu taktirde, öngerilimli ankorlar olarak anılırlar.

Kuramsal ve sayısal yöntemlerle kaya içinde yapılan kazıların duraylılık analizlerinde kaya ankorları birbirine göre zıt yönde etkiyen 2 noktasal veya düzgünce dağıtılmış yükler olarak düşünülür. Bu yüklerin değeri genellikle öngerilme yüküne eşit olarak alınmaktadır (5,6,7,8). Mamafih kaya ankorlarına etkiyen yükler sadece öngerilimden dolayı olmayıp ankorlar kayaya yerleştirildikten sonra meydana gelen kayanın deformasyonundan kaynaklanan yükde içerir. Bu nedenle herhangi bir kuramsal veya sayısal yöntem her iki tip yükde gözönüne almak zorundadır.

Bu çalışmada, kaya ankorları ile eksenel simetrik bir gerilim ortamındaki yeraltı açıklıklarının tahkimi üzerine yeni bir çözüm önerilmekte ve birkaç tipik örnekler uygulanmakta ve tartışılmaktadır.

2. KURAMSAL MODELLEME

2.1 Ankraj kısmının Kuramsal Modellenmesi

1- Kuramsal hususlar

Bir kaya ankorunun ankraj kısmı ve civarı yaklaşık olarak eksenel simetrik bir cisim olarak düşünülebilir (Şekil 1). Dolayısıyla, aşağıdaki 2 denge denklemi elde edilecektir (1,2).

Kaya ve harçta

$$\frac{d\tau_{\xi\eta}}{d\xi} + \frac{\tau_{\xi\eta}}{\xi} = 0 \quad (1)$$

Ankorda

$$\frac{d\sigma_{\eta}}{d\eta} + \frac{2}{r_b} \tau_b = 0 \quad (2)$$

Burada

- $\tau_{\xi\eta}$: Kaya ve harçtaki kesme gerilimi
- σ_{η} : Ankordaki aksenal gerilim
- τ_b : Ankor-harç ara yüzeyindeki kesme gerilimi
- r_b : Ankurun yarıçapı

Malzemelerin elastik davranış gösterdiği varsayımıyla bu iki diferansiyel denklemi birleştirdiğimizde aşağıdaki gibi bir bağıntı elde edilir:

$$\frac{d^2 u_b}{d\eta^2} - \alpha^2 u_b = -\alpha^2 \Delta u_{r0} \quad (3)$$

Burada

$$\alpha^2 = \frac{2K_g}{E_b r_b}, \quad K_g = \frac{G_g}{r_b \log(r_h/r_b)} \cdot \frac{1}{K_a + 1}, \quad K_a = \frac{G_g}{G_r} \cdot \frac{\log(r_0/r_h)}{\log(r_h/r_b)} + 1$$

- u_b : Ankurun aksenal deformasyonu
- Δu_{r0} : Kayanın yarıçap r_0 'da ankor konduktan sonraki deformasyonu
- r_h : Deliğin yarıçapı
- r_0 : Kayanın deformasyonun tanımlandığı yerin deformasyonu
- E_b : Ankurun elastik modülü
- G_g : Harcın kesme modülü
- G_r : Kayanın kesme modülü

II- Δu_{r0} 'ın tanımı ve matematiksel bir fonksiyonla tahmini :

Δu_{r0} 'ın tanımı: Ankurun ankraj kısmı kayanın elastik olarak davrandığı varsayımıyla aksenal simetrik gerilim ortamında silindirik bir açıklık etrafında kayanın radyal deformasyonu aşağıdaki gibi verilebilir:

$$u_r = \frac{A}{r} \quad (4)$$

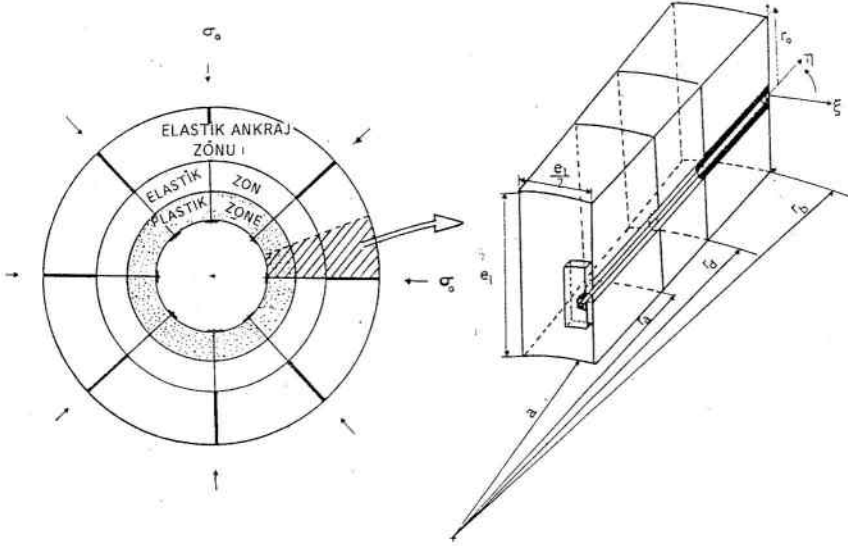
Burada A kayanın elastik özelliklerine ve ilk arazi basıncıyla iç basınca bağlı bir parametredir.

Kaya ankorları konmadan önce belirli bir miktar deformasyon oluşağı için Δu_{r0} 'ın değeri ankor konduğu andaki radyal deformasyon ile dengenin sağlandığı andaki deformasyonların farkına eşit olmak zorundadır. Bu nedenle Δu_{r0}

$$\Delta u_{r0} = (A^e - A^i) \frac{1}{r} \quad (5)$$

olarak elde edilir. Burada e denge haline i 'de ankurun konduğu ana işaret eder.

Kayanın bir kısmının denge sağlandığında plastikleştiğini varsayarsak Δu_{r0} açık bir şekilde aşağıdaki gibi bir bağıntı ile ifade edilebilir:



Şekil 1 Kaya ankurları ile tahkim edilmiş bir açıklığın kuramsal modeli

$$\Delta u_{r,0} = \frac{1 + \mu_r}{E_r} \left[(\sigma'_0 - \sigma_{rd}) r_d^2 - (\sigma'_0 - P_{in}) a^2 \right] \frac{1}{r} \quad (6)$$

Burada

$$\sigma'_0 = \sigma_0 + \Delta\sigma_0$$

σ_0 : İlk arazi basıncı

$\Delta\sigma_0$: Ankurlardan dolayı oluşan arazi basınç artımı

P_{in} : Ankurlar yerleştirildiğinde açıklık cidarına etki ettiği varsayılan iç basınç

μ_r : Kayanın poisson oranı

E_r : Kayanın elastik modülü

a, r ve r_d için Şekil 1'e bak.

$\Delta u_{r,0}$ 'nın matematiksel bir fonksiyonla tahmini:

Daha önceki bir raporda Aydan (4) tarafından tartışıldığı üzere, (6) nolu bağıntıyla verilen $\Delta u_{r,0}$ 'ı (3) nolu bağıntıda yerine konulduğunda oluşan diferansiyel denklemi elemanter yöntemle çözmek mümkün değildir. Bu diferansiyel denklemin homojen olmayan kısmının integralinin propir (proper) olmamasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, $\Delta u_{r,0}$ 'ın (6) nolu denklemdeki şekli başka bir yaklaşık matematiksel bir fonsiyonla yer değiştirilecektir:

$$\Delta u_{r,0} = C'_0 e^{-Dr} \quad (7)$$

Burada

$$C'_0 = \frac{1 + \mu_r}{E_r} \left[(\sigma'_0 - \sigma_{rd}) r_d^2 - (\sigma'_0 - P_{in}) a^2 \right] \frac{e^{Dr_a}}{r_a} \quad D = \frac{\ln(r_b/r_a)}{r_b - r_a}$$

III- Ankor içindeki gerilim ve deformasyonların tespiti:

(7) nolu ilişkiyi (3) nolu denklemde yerine kor ve oluşan diferansiyel denklemi çözersek ankorun deformasyonu aşağıdaki gibi bir bağıntıyla hesaplanabilir hale gelir:

$$u_b = C_1 e^{\alpha\eta} + C_2 e^{-\alpha\eta} + C_0 e^{-D\eta} \quad (8)$$

Burada

$$C_0 = C'_0 \frac{\alpha^2}{\alpha^2 - D^2}$$

İntegrasyon sabitleri C_1 ve C_2 aşağıdaki sınır koşullarını kullanarak

$$\eta = r_a \text{ 'da } \sigma_\eta = \sigma_b$$

$$\eta = r_b \text{ 'de } \sigma_\eta = 0$$

şu şekilde elde edilir:

$$C_1 = \frac{1}{e^{\alpha(r_b-r_a)} - e^{-\alpha(r_b-r_a)}} \left[\frac{\sigma_b}{E_b \alpha} e^{-\alpha r_b} - C_0 D (e^{-\alpha r_b - D r_a} - e^{-\alpha r_a - D r_b}) \right] \quad (9)$$

$$C_2 = \frac{1}{e^{\alpha(r_b-r_a)} - e^{-\alpha(r_b-r_a)}} \left[\frac{\sigma_b}{E_b \alpha} e^{\alpha r_b} - C_0 D (e^{-\alpha r_b - D r_a} - e^{-\alpha r_a - D r_b}) \right] \quad (10)$$

Ankor içindeki gerilim ise

$$\sigma_\eta = -\alpha (C_1 e^{\alpha\eta} - C_2 e^{-\alpha\eta} - C_0 D e^{-D\eta}) \quad (11)$$

ilişkisinden elde edilir.

Eğer ankora bir öngerilim uygulanmışsa ankraj kısmının öngerilimden dolayı oluşacak deformasyonu aşağıdaki gibi bir ilişkiden elde edilebilir (1,2) :

$$u_b^{pr} = \frac{\sigma_{pr}}{E_b \alpha} \cdot \frac{e^{\alpha(r_b-\eta)} + e^{-\alpha(r_b-\eta)}}{e^{\alpha(r_b-r_a)} - e^{-\alpha(r_b-r_a)}} \quad (12)$$

Burada σ_{pr} uygulanan öngerilimin değeridir.

Not: Bu ilişkilerde ankorun ekseni η 'nın açıklığın radyal yönü r ile çakıştığına dikkat et.

2.2 Açıklık etrafındaki kayanın gerilim, deformasyon alanında ankor yüklerinin gözönüne alınması ile ilgili kuramsal hususlar

Burada açıklığın etrafındaki kayanın gerilim ve deformasyon alanında ankor yüklerinin gözönüne alınış şekli Egger'in (7) daha önceden öne sürdüğü şekle benzer olacaktır. Ankor yüklerinin açıklık cidarına düzgün olarak yayılmış kayaya doğru bir iç basınç P_b olarak uygulandığını varsayarak, 2 tane aynı merkezli kalın cidarlı silindiri düşünelim (silindirler r_d ile r_a ve r_a ile ∞ olarak sınırlandırılmıştır, Şekil 1'e bak). Bunun yanı sıra, $r = r_a$ 'da ankordaki yüklerden dolayı oluşan radyal ve teğetsel gerilimlerde bir süreksizlik oluşacağı için birinci silindirden açıklığa doğru P_{a1} ve ikinci silindirden kayaya doğru P_{a2} diye iç basınçların uygulandığını varsayalım edelim. Bu iki basınç arasındaki fark P_a ile gösterilir $r = r_a$ 'da çevre boyunca düzgünce dağıldığını varsayarsak aşağıdaki gibi ilişkiler yazılabilir :

$$P_a = P_{a1} - P_{a2} \quad (13)$$

$$P_a = P_b \frac{a}{r_a} \quad P_b = \frac{n \cdot A_b \cdot \sigma_b}{2\pi \cdot a \cdot t} \quad (14)$$

Burada

t : Ankor aralığı (karesele yerleştirme)

n : Kaya ankorunun sayısı

A_b : Ankurun kesit alanı

σ_b : $r = r_a$ 'da ankordaki eksenel gerilim

$r = r_a$ 'da kalın cidarlı silindirelerin radyal deformasyonunun sürekliliğinin sağlanması şart koşulursa ankordan dolayı oluşan P_b basıncı cinsinden ilk arazi basıncını değerindeki artım için aşağıdaki gibi bir ilişki elde edilir:

$$\Delta\sigma_0 = P_b \frac{a}{r_a} \quad (15)$$

Dolayısıyla ilk silindire etkiyen yeni arazi basıncı aşağıdaki şekli alacaktır:

$$\sigma'_0 = \sigma_0 + \Delta\sigma_0 \quad (16)$$

1- Açıklık etrafındaki gerilimler ve deformasyonlar:

Plastik Zon: Kırık kaya için Mohr-Coulomb yenilme kriteri uygulanır ve eksenel-simetrik bir problem için gerekli denge denklemi çözülürse, gerilimler ve elastik-plastik sınırın yarıçapı aşağıdaki gibi elde edilir (Aydan ve Ersen 1985):

Radyal gerilim

$$\sigma_r = \left(P_i + \frac{\sigma_c^*}{q^* - 1} \right) \left(\frac{r}{a} \right)^{q^* - 1} - \frac{\sigma_c^*}{q^* - 1} \quad (17)$$

Teğetsel gerilim

$$\sigma_\theta = \left(P_i + \frac{\sigma_c^*}{q^* - 1} \right) \left(\frac{r}{a} \right)^{q^* - 1} + \frac{\sigma_c^*}{q^* - 1} \quad (18)$$

Elastik-plastik sınırın yarıçapı

$$r_d = a \left[\frac{\sigma_{rd} + \frac{\sigma_c^*}{q^* + 1}}{P_i + \frac{\sigma_c^*}{q^* - 1}} \right]^{\frac{1}{q^* - 1}} \quad (19)$$

Yukarıdaki bağıntıdaki gerilim σ_{rd} , $r = r_d$ 'deki radyal gerilim olup açıkça

$$\sigma_{rd} = \frac{2\sigma_0 - \sigma_c}{q + 1} \quad (20)$$

olarak elde edilebilir.

Burada

- P_i : İç basınç
 σ_c : Sağlam kayanın tek eksenli basınç dayanımı
 σ_c^* : Kırık kayanın tek eksenli basınç dayanımı
 ϕ : Sağlam kayanın içsel sürtünme açısı
 ϕ^* : Kırık kayanın içsel sürtünme açısı

$$q = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi} \quad q^* = \frac{1 + \sin \phi^*}{1 - \sin \phi^*}$$

Hacimsel birim deformasyon elastik-plastik sınırdan sıfır ve plastik zonda elastik birim deformasyonun sabit olduğu varsayımıyla açıklık etrafındaki kayanın radyal deformasyonu aşağıdaki gibi elde edilir (Brown ve arkadaşları 1983):

$$u = \frac{r}{f+1} \frac{1 + \mu_r}{E_r} (\sigma'_0 - \sigma_{rd}) \left[2 \left(\frac{r_d}{r} \right)^{f+1} + (f-1) \right] \quad (21)$$

Burada f kayanın genişleme katsayısıdır.

Elastik zonlar: Elastik zonlardaki gerilim ve deformasyonlar kalın cidarlı silindirler için ise aşağıdaki ilişkiler geçerlidir:

Zon 1: İç kalın cidarlı silindir $r_d \sim r_a$

Radyal gerilim

$$\sigma_r = \sigma'_0 - (\sigma'_0 - \sigma_{rd}) \left(\frac{r_d}{r} \right)^2 \quad (22)$$

Teğetsel gerilim

$$\sigma_\theta = \sigma'_0 + (\sigma'_0 - \sigma_{rd}) \left(\frac{r_d}{r} \right)^2 \quad (23)$$

Radyal deformasyon

$$u = \frac{1 + \mu_r}{E_r} (\sigma'_0 - \sigma_{rd}) \left(\frac{r_d}{r} \right)^2 \quad (24)$$

Zon 2: Dış kalın cidarlı silindir $r_a \sim \infty$

Radyal gerilim

$$\sigma_r = \sigma_0 - (\sigma_0 - \sigma_{ra}) \left(\frac{r_a}{r} \right)^2 \quad (25)$$

Teğetsel gerilim

$$\sigma_\theta = \sigma_0 + (\sigma_0 - \sigma_{ra}) \left(\frac{r_a}{r} \right)^2 \quad (26)$$

Radyal deformasyon

$$u = \frac{1 + \mu_r}{E_r} (\sigma_0 - \sigma_{ra}) \left(\frac{r_a}{r} \right)^2 \quad (27)$$

Burada

$$\sigma_{ra} = \sigma'_0 - (\sigma'_0 - \sigma_{rd}) \left(\frac{r_d}{r} \right)^2 - P_a$$

P_b 'in tespiti ve kayanın karakteristik ve tahkimatın reaksiyon eğrileri:

Kayanın karakteristik ve tahkimatın reaksiyon eğrileri kavramı son yıllarda kaya tahkimatının ana ilkesini en basit şekilde açıklamada yaygınca kullanılmaktadır. Kayanın karakteristik eğrisi genelde açıklık cidarına etki ettiği varsayılan bir iç basıncın giderek azaltılması ile elde edilir (3,4,6). Bu iç basınç bir anlamda açıklık aynasının gözönüne alınan bir kesite olan uzaklığa göre gösterdiği tahkim edici etkisini canlandırmak amacıyla kullanılır (4,6,7). Genelde bu basınç 3 kısımdan oluşur. Bunlar sırasıyla :

- 1- P_s : Ankordan başka tahkimat elemanlarının verdiği iç basınç
- 2- P_{bd} : Kayanın deformasyonundan dolayı ankorda oluşan yükün verdiği iç basınç
- 3- P_{pr} : Ankora verilen öngerilimden dolayı oluşan iç basınç

Bir anlık, P_{pr} 'in vermiş olduğu iç basıncı ihmal edelim ve ankoreların kaya yerleştirildiği anda etki ettiği varsayılan bir radyal iç basınç P_{in} 'i düşünelim. Ankor içinde ki yük P_b ankoreların yerleştirildiği andan itibaren P_i 'in değerinde her bir azalma için aşağıdaki gibi bir yöntemle hesaplanabilir. Yöntemin ana ilkesi açıklık cidarında ankoreların deformasyonunu açıklık cidarında ankoreların yerleştirilmesinden sonra oluşan kayanın deformasyonuna eşit kılmaktır. Açıklık cidarında ankorelar yerleştirildikten sonra oluşan kayanın deformasyonu

$$\Delta u_{ra} = \frac{a}{f+1} \frac{1 + \mu_r}{E_r} (\sigma'_0 - \sigma_{rd}) \left[2 \left(\frac{r_d}{a} \right)^{f+1} + (f-1) \right] - \frac{1 + \mu_r}{E_r} (\sigma_0 - P_{in})a \quad (28)$$

olarak verilebilir. Ankoreların açıklık cidarındaki deformasyonu ise aşağıdaki gibi bir şekilde yazılabilir:

$$u_b^a = u_f + u_b^{ra} \quad (29)$$

Burada

- u_b^{ra} : Harçlı kısmın açıklığa en yakın ucundaki deformasyon
 u_f : Ankoreların serbest kısmının deformasyonu

$$u_f = \frac{\sigma_b}{E_b} (r_a - a)$$

(28) ve (29) nolu ifadelerin eşit olmasını şart koşarsak

$$F = \Delta u_{ra} - u_b^a = 0 \quad (30)$$

gibi bir ilişki elde edilir. Newton-Raphson öteleme (iteration) yöntemini aşağıdaki gibi kullanarak

Çizelge 1 Malzeme özellikleri ve geometrik sabitler

σ_o MPa	Malzeme özellikleri										geometrik sabitler				
	σ_c MPa	σ_c^* MPa	ϕ (°)	ϕ^* (°)	E_r GPa	ν_r	E_g GPa	ν_g	E_b GPa	a m	r_a m	r_b m	r_h mm	r_{ankor} mm	
	EPP EBP														
15	10	10	5	32	32	5	.25	2.5	.3	180	3	6	8	18	12.5

EPP : Elastik-Mükemmel Plastik

EBP : Elastik-Gevrek Plastik

$$P_b^k = P_b^{k-1} - \frac{F(P_b^{k-1})}{F'(P_b^{k-1})} \quad (31)$$

P_i 'nin herhangi bir değeri için P_b hesaplanabilir. Daha sonra P_s hesaplanır. P_i 'nin değerinin azaltılması P_s 'nin değeri tanımlanan bir seviyeye düşürülünceye kadar devam edilir. Örneğin kaya ankorlarından başka bir tahkimat unsuru kullanılmamışsa P_s sıfıra eşit olacaktır.

Kayanın karakteristik ve tahkimat eğrilerini elde ederken eğer bir öngerilim uygulanmışsa aşağıdaki gibi bir yöntem izlenebilir: P_{in} 'nin değerine P_{pr} 'nin tanımlanan değeri eklenir ve (29) nolu ilişkiden verilen ankorun deformasyonuna (12) nolu ilişkide verilen u_b^{pr} eklenerek bir önceki duruma benzer bir yöntem izlenerek sözü edilen eğriler elde edilir.

3. UYGULAMALAR VE TARTIŞMALAR

Bir önceki bölümde sunulan çözümleri kullanarak aşağıdaki durumlar incelenip tartışılacaktır:

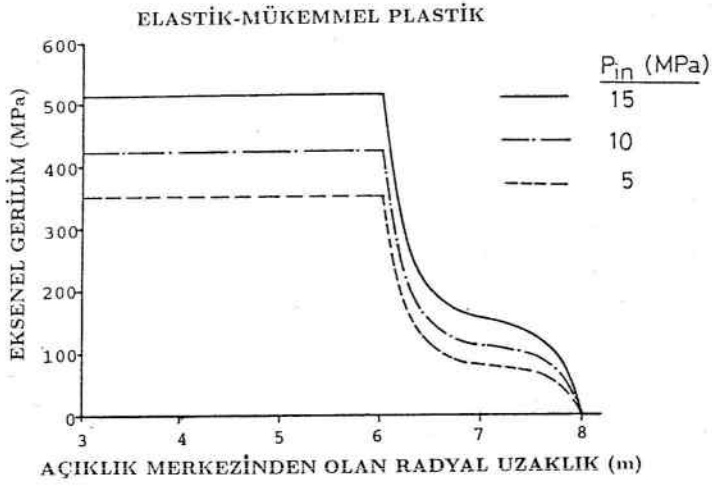
- 1 Ankörlerin yerleştirilme zamanının etkisi
- 2 Kaya tipinin etkisi
- 3 Ankörlerin yerleştirilme aralığının etkisi
- 4 Öngerilme ve ankraj uzunluğunun etkisi

Analizlerde kullanılan malzemelerin fiziksel özellikleri ve ankor ve açıklık boyutları ve ilk arazi basıncı Çizelge 1'de gösterilmiştir. Ayrıca, değiştirilen parametreler şekillerde işaret edilmiştir. Zaman zaman klasik yöntemlerle kıyaslama yapabilmek amacıyla Brown ve arkadaşlarının öne sürdüğü çözümle elde edilen $p_i - u_i/a$ eğrisi şekillere eklenmiştir.

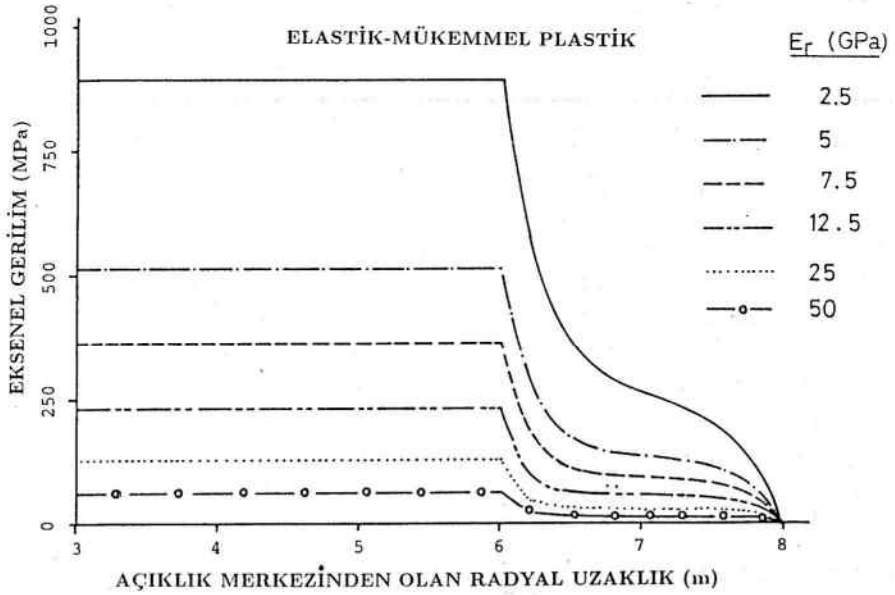
1- Ankörlerin yerleştirilme zamanının etkisi: Burada sözü edilen yerleştirilme zamanı, zamana bağlı davranıştan ziyade ankörler konmadan önce mücade edilen deformasyona işaret eder. Beklendiği gibi yapılan analiz sonuçları ankörlerin yerleştirilme zamanının ankörler içinde oluşacak eksenel yükün değerini oldukça etkilediğini gösterdi (Şekil 2). Bu da ankörler tarafından açıklığın cidarına uygulanan iç basıncın değeri üzerinde oldukça etkili olmaktadır.

2- Kaya tipinin etkisi: Kayanın elastik modülünün (Zayıf, orta sert, sert kaya) değeri 2.5 ile 50 GPa arasında değiştirilerek yapılan analiz sonuçları Şekil 3'te gösterilmiştir. Sonuçlardanda anlaşılabacağı üzere kaya ankörlerinin tahkim edici etkisi özellikle zayıf-(soft) kayalarda daha da yüksektir. Ayrıca, kayanın elastik modülü 2.5 GPa iken plastik zonun yarıçapı en küçüktür.

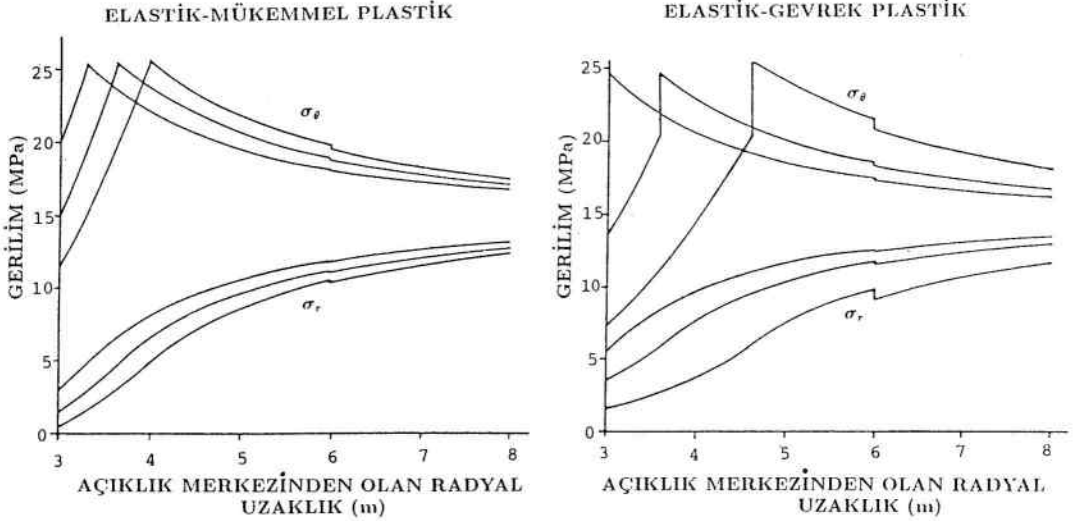
Kayanın mekanik davranışının etkisini incelemek üzere 2 tip mekanik davranış gözönüne alındı;



Şekil 2 Ankor içinde eksenel gerilimin dağılımı (yerleştirme zamanı değişken - Elastik-mükemmel plastik kaya)



Şekil 3 Ankor içinde eksenel gerilimin dağılımı (kayanın elastik modülü değişken - Elastik-mükemmel plastik kaya)



Şekil 4 Ankorklarla tahkim edilmiş kayanı içinde gerilimlerin dağılımı (kayanı davranışı değişken)

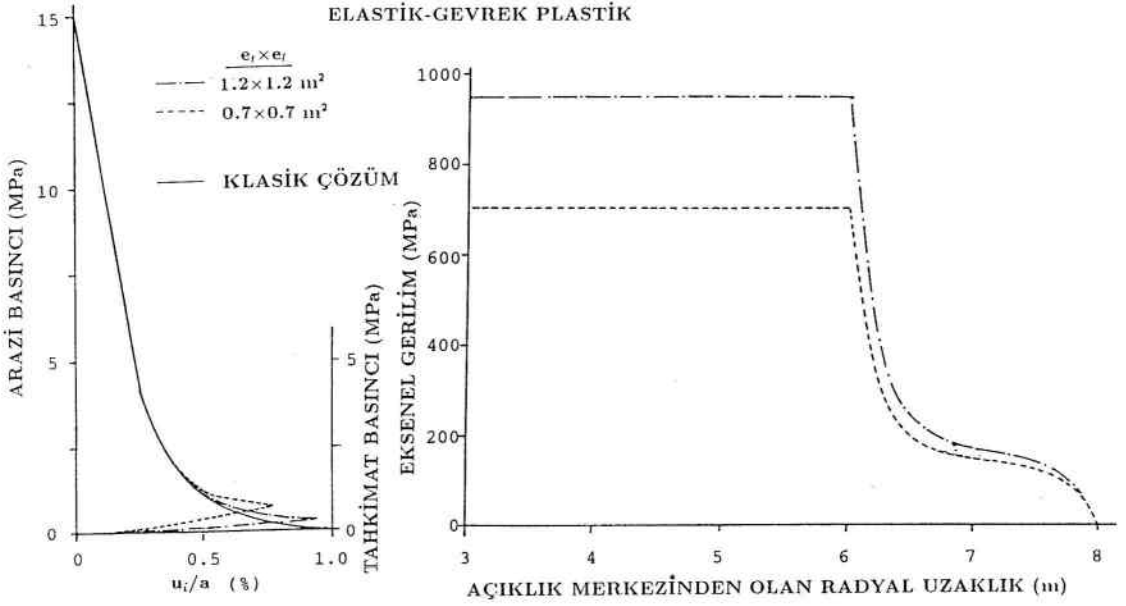
- i- Elastik-Mükemmel Plastik
- ii- Elastik-Gevrek Plastik

Analizlerde kayanın yenilme sonrası kalıcı dayanımı dışında kullanılan fiziksel özellikler her iki kaya tipi için aynıdır. Analiz sonuçları ankorkların harekete geçirilen en büyük tahkim edici etkisinin elastik-gevrek plastik kayalarda olacağını ve elastik-mükemmel plastik kayalarda daha az olacağına işaret etmektedir. Şekil 4 açıklık etrafında kayanın davranışına bağlı olarak oluşan radyal ve teğetsel gerilimlerin dağılımlarını göstermektedir.

4- Ankorkların yerleştirilme aralığının etkisi: Bilindiği üzere ankorkların yerleştirilme aralığının tespiti her zaman için tasarımda bir problemdir. Bu konu ile ilgili yapılan analizlerin sonuçları Şekil 5'de gösterilmiştir. Şekildende anlaşılabacağı üzere ankor içindeki eksenel yük, yerleştirilme aralığının artmasıyla artarken, saplamaların tahkimat reaksiyon eğrileri daha az bir eğimle yükselmekte ve oluşan kaya deformasyonu artmaktadır. Tasarımcı dolayısıyla en uygun aralığı ankor içindeki yükün ankorkun çekme direncini aşmayacak bir şekilde seçmek zorundadır.

IV- Öngerilim ve ankraj uzunluğunun etkisi :

Öngerilimin etkisi: Ankorkların bu etkisini incelemek üzere yapılan analizlerin sonuçları Şekil 6'da pasif ankorkları ile birlikte gösterilmiştir. Sonuçlar denge halinde pasif ankorklar ile öngerilimli ankorkların sağladığı iç basınç hemen hemen aynı olduğunu göstermektedir. Genelde öngerilim uygulanmış ankorkların reaksiyon eğrisinin pasif kaya ankorklarınıninkine paralel ve öngerilim mik-



Şekil 5 Karakteristik eğriler ve ankor içinde eksenel gerilimin dağılımı (yerleştirilme aralığı değişken - Elastik-gevrek plastik kaya)

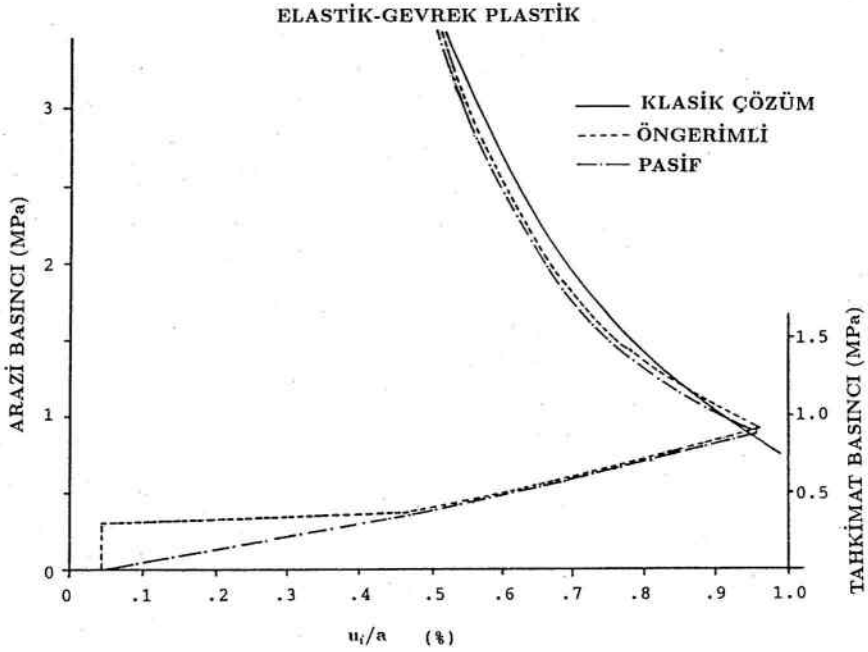
tarı kadar yüksek olacağı umulmasına karşın, analiz sonuçları böyle bir durumun mümkün olamayacağını vurgulamaktadır. Yapılan ek analizlerde eğer öngerilimin değeri belirli bir değeri aşarsa başta öngerilme miktarında önce azalma bile olacağını göstermektedir. Bu durum gerçekte sık sık rastlanan bir olgudur (Rescher 1968). Öngerilimin uygulanmasıyla akorun ankraj kısmında ankora yakın kaya kütlelerinin ankordan daha uzak kütlelerine göre açıklığa doğru daha fazla deforme olması nedeniyle ankor önce bu deformasyon açığını kapatmaya çalışmaktadır. Buda dolayısıyla ya ankorun hemen hemen hiç yük almamasına veya yük kaybına bile yolaçmaktadır. Sonuç olarak büyük masraflar harcanarak yapılan öngerilme işleminin gereksiz olduğu söylenebilir. Bu nokta özellikle bu çalışmadan elde edilmiş en önemli bulgulardan bir tanesidir.

Ankraj uzunluğunun etkisi : Ankraj uzunluğunun etkisini incelemek üzere yapılan analizlerde ankraj kısmının elastik davranış göstermesi halinde uzunluğu artırmanın gereksiz olduğunu göstermektedir (Şekil 7). Mamafih kayanın karakteristik eğrisi azda olsa ankraj uzunluğundan etkilenmektedir.

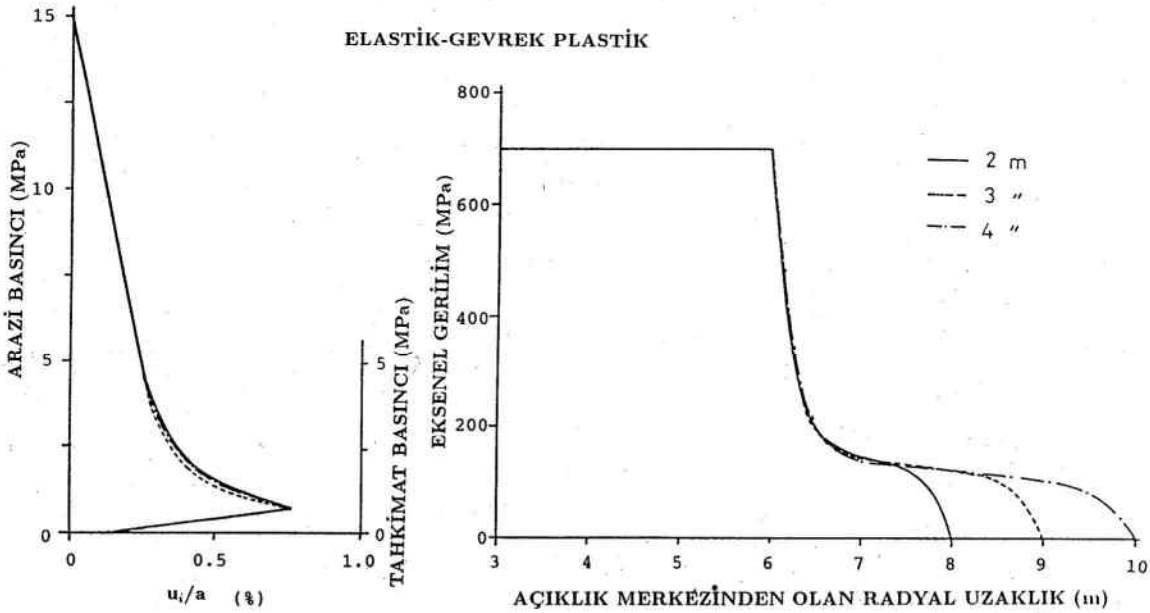
SONUÇLAR

Bu çalışmadan elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- 1- Kuramsal çözümler ankorların tahkim edici etkisini niceliksel olarak tespitini mümkün kılmaktadır.



Şekil 6 Öngerilimli ve pasif kaya ankurları ile tahkim edilmiş bir açıklığın etrafındaki kayanın karakteristik eğrileri ile tahkimat reaksiyon eğrileri (Elastik-gevrek plastik kaya)



Şekil 7 Kayanın karakteristik eğrileri ve ankor içinde eksenel gerilimin dağılımı (ankorların ankraj uzunluğu değişken - Elastik-gevrek plastik kaya)

- 2- Ankörlerin yerleştirilme zamanı ankörlerin içinde oluşacak yükün değerini büyük ölçüde etkilemektedir.
- 3- Ankörlerin tahkim edici etkisi sert kayalara kıyasla zayıf ve gevrek kayalarda daha fazla olacaktır.
- 4- Ankörlerin kullanıldığı bir açıklığın karakteristik eğrisi klasik yöntemlerle hesaplanan eğriden farklıdır. Ayrıca ankörlerin tahkimat reaksiyon eğrisi düzgün bir doğru olmayıp bir eğri şeklinde ve kayanın mekanik davranışına bağlı olarak değişmektedir.
- 5- Ankörlerin yerleştirilme aralığı açıklığın karakteristik eğrisini etkiler. Eğer aralık artarsa saplama içinde eksenel yük artmasına karşılık saptamaların tümünün sağladığı iç basınç azalmaktadır.
- 6- Ankörlerde öngerilme uygulanması sanıldığıınca etkili olmadığı ve de gereksiz olduğu söylenebilir.
- 7- Ankörlerin ankraj uzunluğu ankraj kısmında bir plastikleşme olmadığı sürece artırmak gereksizdir.

KAYNAKLAR

- 1- Aydan, Ö., Ichikawa, Y., Kawamoto, T. ve Ersen, A. 1985: Kaya saptamaları içinde ve civarında oluşan gerilim, birim deformasyon ve yerdeğiştirmelerle ilgili yeni bir analitik çözüm. Madencilik, Vol. 24, No.3, Sept., 27-36.
- 2- Aydan, Ö., Ichikawa, Y. ve Kawamoto, T. 1985: Load bearing capacity and stress distributions in/along rockbolts with inelastic behaviour of interfaces. Procs. of the 5th Int. Conf. on Num. Meths. in Geomechanics. Nagoya, Vol.2, 1281-1292.
- 3- Aydan, Ö. ve Ersen, A. 1985: Maden kuyusu (ve derin maden galeri) tahkimatının taşıyacağı yükün tespiti. Kaya Mekaniği Dergisi, Sayı 3, 21-34.
- 4- Aydan, Ö. 1989: The stabilisation of rock engineering structures by rockbolts. Doctorate Thesis, Nagoya University.
- 5- Barla, G. ve Cravero, M. 1972: Analysis of stress around underground openings reinforced with rockbolts. Procs. Int. Symp. für untertagbau, Luzern.
- 6- Brown, E.T., Bray, J.W., Hoek, E. and Ladanyi, B. 1983: Ground response curves for rock tunnels. J. Geotech. Div., ASCE, Vol.109, No.1,15-39.
- 7- Egger, P. 1973: Einfluss des Post-Failure-Verhaltens von Fels auf den Tunnelausbau unter besonderer Berücksichtigung des Ankerausbaus. Veröffentlichungen des Institutes für Bodenmechanik und Felsmechanik, Univ. of Karlsruhe.
- 8- Lombardi, G. 1970: The influence of rock characteristics on the stability of rock cavities. Tunnels and Tunnelling, Jan. and March.

- 9- Rescher, O.J. 1968: Erfahrungen beim ausbau des Kavernenzentrale Veytaux mit spritzbeton und Felsankern. Felsmechanik und Ingenieur Geol. Suppl. IV, 216-253.

PROJE PARAMETRELERİNİN DEĞERLENDİRİLMESİ VE İTERAKSİYON MATRİSİ

M.K. Gökay

Selçuk Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü,
Kampüs, 42079, Konya

Özet: Proje değerlendirilmesi sırasında amacın tespiti ve bunu sağlayacak parametrelerin belirlenmesi önemli aşamalardan sayılabilir. Sonuçta alınacak kararları etkileyecek her türlü faktör proje sahibi tarafından göz önünde tutulurken, bunların üzerinde düşünülen sonuca olan etkileri karara bağlanmak istenmektedir. Bu çalışma 1992 yılında Hudson tarafından geliştirilen interaksiyon matris karar verme çalışmalarını ve madencilik dalındaki uygulamalarını içermektedir.

1. Giriş

Maden Mühendisliği ve bir alt birimi olan kaya mekaniği uygulamalarında verilen kararların çoğunluğu önceki yıllarda elde edilen sonuçlara ve kazanılan tecrübelere dayanılarak verilen kararlardır. Burada sorulması gereken sorulardan en önemlisi maden mühendisi veya kaya mekaniği uzmanı niçin karar verme aşamasında her zaman tecrübesine dayanmak zorunda kalmaktadır. Bunun nedeni belkide kaya kütlesi davranışlarındaki sayısız bilinmeyenlerdir. Bugüne kadar uygulanan tahkimat hesaplamalarının genellikle kabul edilen varsayımlar veya empirik yaklaşımlara dayalı olması, kaya kütlesinin davranışını tam anlamıyla açıklayabilecek

teorik yaklaşımların bulunmaması ve kaya kütlesinin doğası gereği deneyler sonucu elde edilen mekanik özelliklerin her zaman tartışmaya açık olması gibi nedenler sorulan soruya birer cevap niteliğindedir. Klasik yollarla maden galerisi kesitinin hesaplanması ve kullanılacak tahkimatın kabüllere ve empirik yaklaşımlara dayandırılmasına ek olarak; maden çevresindeki kayaç türleri ve onların mekanik davranışları konusunda tecrübe sahibi olmak, bu tecrübeyi genel kayaç modellemelerinin gerektirdiği tecrübeyle ve bilgiyle birleştirerek hesaplamaları veya tavsiyeleri bu doğrultuda yapmak uygulamada daha iyi sonuçlar verecektir. Bilinmeyen faktörlerin çokluğu ve elde edilen deney sonuçlarındaki gerçekçilik şüphesi, her bilim dalında olduğu gibi, madencilik ve kaya mekaniği üzerinde araştırmalar yapan araştırmacıları da istatistiksel yorumlara götürmüş, birçok araştırma bu yolla yorumlanmıştır. Son yıllarda yapılan çalışmalarla Zadeh'in 1963 de ortaya koyduğu karmaşık (fuzzy) küme konusu karar aşamasında tecrübelerden yararlanılarak bilinmeyen, ölçülemeyen ve sonucundan emin olunamayan değerler üzerinde yorum yapmak amacı ile kullanılmaya başlanmıştır (Yager 1977, Nguyen 1985). Bu konuyu aydınlatmak için verilecek temel örneklemelerden birisi herhangi bir kayacın tek eksenli basma dayanımının tespitidir. Yapılan laboratuvar veya yerinde deney sonuçları belirli bir proje sahasındaki kayaç türleri için değişik sonuçlar verecektir. Bu deney sonuçlarının ortalaması ve standard sapmaları hesaplanarak kayaçlar arasındaki farklılaşma bunlarla tanımlanmaya çalışılacaktır.

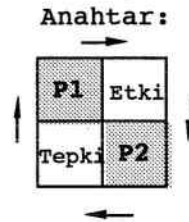
Bununla birlikte aynı proje sahasında, aynı kayaç türlerinin değişik yerlerinden alınan ikinci grup deney örneklerinden farklı deney sonuçları bulunması (verilen ilk seri tek eksenli basma dayanımlarına göre ikinci seri sonuçlarının farklılık göstermesi), deney sonuçlarının güvenilirliğini yitirmesine neden olacaktır. Aslında elde edilen bu sonuç farklılaşması kayanın doğasına mahsus ve bunun gereği olarak ortaya çıkan kaçınılmaz bir durumdur. Yapılan deney sayısı ne kadar artırılırsa da, sonuçta verilen değerler her zaman homojen olduğu kabul edilen büyük bir kayaç kütlesinden alınan sayılı numunelere dayalı olacağından, bunlardan elde edilecek sonuçlar gerçek anlamda % 100 emin olunamayan istatistiksel sonuçlar olacaktır. Bu yüzden verilen sonuçlarda hesaplanmış sayısal verilerin yanında, tecrübeli mühendis veya araştırmacıların görüşünün de dikkate alınması belki yeni bir düşünce değildir ama bunun sayısal olarak ifade edilmeye çalışılması yeni bir çalışma alanıdır. Yukarıda verilen örnekte de olduğu gibi kayacın belirli şartlarda davranışı konusunda yorumda ve hesaplamada bulunurken tecrübelerden yararlanmak verilen sonuçları temelde kişisel (tarafli) yapabilir. Ancak tecrübesinden yararlanılacak uzmanın konuyu iyi bilmesiyle orantılı olarak bu tarafsızlık ortadan kalkacaktır. Konusunda uzman bir araştırmacı, yönetici veya mühendis, deneyimlerinin kendisine verdiği kaçınılmaz doğrulara dayanarak karar vereceğinden sonuçta alınacak karar problemin çözümü doğrultusunda tarafsız olacaktır.

2. İnteraksiyon Matrisi Uygulaması

Bu yöntem Hudson (1991-1992) tarafından kayaç mekaniğindeki emin olunamayan faktörlerin ve bunlar arasındaki ilişkilerin açıklığa kavuşturulması amacı ile geliştirilmiştir. Kısaca, verilmesi düşünülen önemli bir kararın parametreleri ölçülemiyor veya ölçülse de ölçümlerin istatistiksel olma özelliklerinden dolayı sonuçtan emin olunamıyorsa, böylesi bir yöntemin uygulanması verilecek kararı sistematik hale getirdiğinden sonuçta başarıyı artıracaktır.

Şekil 1'de bir interaksiyon matris örneği görülmektedir. Bu matrisin diagonal hücrelerine karar için etkili olabileceği düşünülen parametreler, diğer hücrelerine ise tecrübelerle dayanılarak verilen ağırlık katsayıları yerleştirilir. Matris sistemini kullanmak isteyen mühendis, matrisin boyutunu ($a \times a$) karar için seçtiği parametre sayısına göre ayarlayacaktır. İnteraksiyon matris uygulamasının temelinde verilecek karar parametrelerinin kritik olanlarının bulunup bunların verilecek karar üzerindeki etkilerinin belirlenmeye çalışılması yatmaktadır. Şekil 1'de verildiği gibi seçilen P1, P2, P3 ve P4 alınması gereken karara etkili olan parametrelerdir. Bunlara örnek olarak kayaç çatlak açıklığı, çatlak dolgusu, çatlak pürüzlülüğü ve çatlak boyu seçilebilir. Bu parametrelerin kaya kütlesi tek eksenli basma dayanımı tayininde etkili olduğu bilindiğinden hangisinin diğerine göre daha kritik olduğunun araştırılması interaksiyon matris yöntemiyle yapılabilir. Diagonal olarak yerleştirilen parametrelerin birbirlerine etki ve tepkisine Şekil 1 anahtarında verilen kodlama sistemine göre karar verilir.

				S_j	
	P1	4	2	3	9
	0	P2	1	4	5
	2	1	P3	3	6
	0	4	2	P4	6
S_i	2	9	5	10	6.5 Ortalama Değer

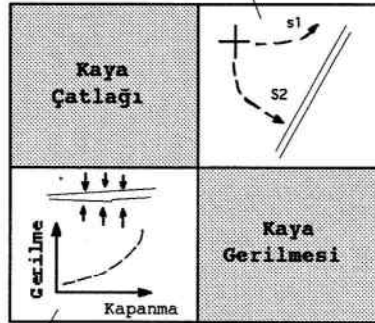


Şekil 1. İnteraksiyon matrisinin yapısı, seçilen dört özel karar parametresi ve bunlar arasındaki interaksiyonların ağırlıklı olarak ikiye ikiye belirlenmesi, (Hudson, 1992).

Parametrelerin çaprazındaki matris hücresine ele alınan iki parametrenin birbirleriyle olan etki-tepki ilişkileri düşünülen karara göre yazılır. Burada verilmesi düşünülen etki-tepki derecesi sözle ifade edilebileceği gibi konunun standardlaştırılması ve sayısallaştırılması açısından ağırlık kodlaması da yapılabilir. Hudson (1992) aşağıda verilen karşılaştırma ağırlık çizelgesini parametreler arasındaki interaksiyon derecesine göre önermiştir.

<u>İnteraksiyon Derecesi</u>	<u>Ağırlık kod değeri</u>
yok	0.0
çok az	1.0
orta	2.0
kuvvetli	3.0
kritik	4.0

Kaya Çatlağı'nın Kaya Gerilmesi üzerindeki etkisi:
(Kaya çatlağındaki açıklık kaya gerilmesinin yönünün değişmesine neden oluyor).



Kaya Gerilmesi'nin Kaya Çatlağı üzerindeki etkisi:
(Kaya içindeki gerilme kaya çatlağını zamana ve gerilme şiddetine göre kapamaya çalışacaktır)

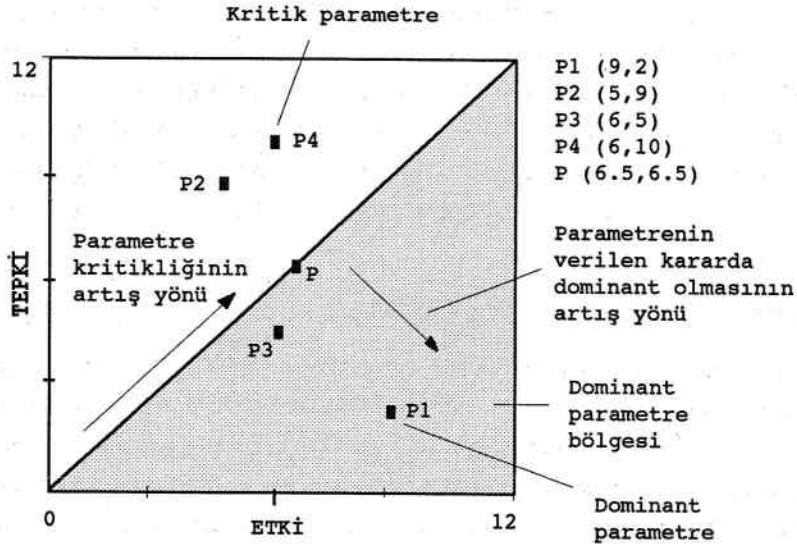
Şekil 2. Kaya çatlağı ve gerilmesi arasındaki etki-tepki interaksiyonu (Hudson, 1992).

Yine Hudson (1992) karar için seçilen düşüncüyü oluşturan parametreler arasındaki interaksiyonların belirlenmesinde, seçilen parametrelerin birbirleriyle olan ilişkilerinin çok iyi derecede bilinmesi gerektiğini belirterek sonuçta, elde edilecek matris kodlamasının güvenilirliğinin, kodlamayı yapan araştırmacının veya mühendisin tecrübesiyle doğrudan ilişkili olduğunu göstermiştir. Örneğin etki-tepki tayini için kayaç çatlağı ve kayaç içindeki gerilme parametreleri seçilirse, kayacın düşünülmesi gereken mekanik davranışları Şekil 2'de gösterildiği gibi olmalıdır.

3. İnteraksiyon Matrisinin Etki-Tepki Grafiği

Kararı etkileyecek parametrelerin tayini ve bunların birbirleriyle interaksiyonunun belirlenmesinden sonra ortaya çıkan kodlanmış matris formu Şekil 1'de verildiği gibi olacaktır. Kritik ve dominant karar parametrelerinin tayini için takip edilecek yöntem Hudson (1992) tarafından açıklanmış ve izlenmesi gereken işlem aşamaları aşağıda verilmiştir. Etki-tepki kodlama işlemini takiben matris genelinde her bir satırda bulunan ağırlık katsayılarının (etkilerin) toplamı; S_j , ($j=1,2,3,4$) olarak hesaplanmalı, her bir sütunda bulunan ağırlık katsayılarının (tepkilerin) toplamı da S_i , ($i=1,2,3,4$) olarak belirlenmelidir. Sonuçta elde edilen S_j ve S_i değerleri kendi aralarında toplanıp ortalamaları alınır ise etki-tepki grafiğinin ortalama değeri olan P noktası bulunur; ($C=S_j/n$, $E=S_i/n$, burada n toplam parametre sayısıdır). Bu nokta $P(C,E)$ olarak tariflenir. Bu hesaplamalar sonunda elde edilen S_j , S_i ve P değerleri etki-tepki grafiğinde yerlerine konursa Şekil 3'deki gibi bir grafik elde edilecektir. Bu grafikten de anlaşılacağı gibi verilen örnekte en kritik parametre $P4$ olurken diğer parametreler de karar üzerindeki kritiklik seviyelerine göre $P2$, $P1$ ve $P3$ şeklinde en az kritik parametreye doğru sıralanmışlardır.

Yine aynı grafikten verilmesi düşünülen karar üzerinde dominant olan parametre $P1$ olarak tespit edilirken diğer parametreler de dominant sıralamasında $P3$, $P2$ ve $P4$ olarak sıralanmışlardır. Halen devam eden ve verilen bu parametre ve şartları içeren bir proje çalışması için elde bulunan $P1$ parametresi üzerinde yapılacak pozitif yönlü (verilecek karar doğrultusunda) bir düzeltme, verilen dört parametreyle sınırları belirlenen bu karar ortamını ve kodlanmış interaksiyon matrisini en üst düzeyde etkileyecektir. Aynı düzeltmenin daha az dominant bir parametreye uygulanması karar ortamını ve sonucunu aynı şekilde etkili olarak değiştiremeyecektir. Çünkü seçilen parametrenin sonuca olan etkisi dominant parametreye göre daha azdır. Bunun yanında etki-tepki grafiği karar verici mühendisi, üzerinde dikkat edilmesi gereken, en kritik karar parametresinin $P4$ olduğunu göstermektedir. Böylece projenin gerektirdiği son karar bu uyarıların ışığı altında alınacak ve sayısallaştırılan bu tecrübe aktarımı karar verme aşamasında düşünülmesi gereken birçok karar parametresinin bir sistem dahilinde incelenmesine yardımcı olacaktır.



Şekil 3. Şekil 1'de verilen kodlanmış interaksiyon matrisinin etki-tepki grafiği.

4. Sonuç

Maden Mühendisliği ve kaya mekaniği çalışmalarında alınması gereken birçok kararda veri olarak kullanılan parametrelerin çoğunluğu istatistiksel ortalama değer ve standard sapma ile bulunan değerler olup bunların da gerçek değerleri içerdiği konusunda % 100 emin olunamamaktadır. Böylesi karar ortamlarında kullanılmak üzere geliştirilen yöntemlere ek olarak, burada interaksiyon matris yöntemi açıklanmış, bu metodun karar aşamasındaki etkisi sonuçta elde edilen kritik ve dominant parametre sıralamasıyla gösterilmiştir.

Kaynaklar

- Hudson, J.A. (1991) Atlas of rock engineering mechanism: Underground excavations. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abs.*, V28, N6, 523-526.
- Hudson, J.A. (1992) *Rock Engineering Systems, Theory and Practice*. Ellis Horwood Yayıncılık, Londra.
- Nguyen, V.U. (1985) Some fuzzy set application in mining geomechanics. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abs.*, V22, N6, 369-379.
- Yager, R.R. (1977) Multiple objective decision making using fuzzy sets. *Int. J. Man-Machine Studies*, V9, 375-382.
- Zadeh, L.A. (1963) Fuzzy sets. *Information Control*, V8, 338-353.

SCHMIDT ÇEKİCİ ÖLÇME YÖNTEMLERİNİN İSTATİSTİKSEL
KARŞILAŞTIRILMASICan AYDAY ¹R. Mete GÖKTAN ²

1. GİRİŞ

İsviçreli mühendis E. Schmidt tarafından 1948 yılında beton yüzey sertliğini ölçmek amacıyla geliştirilen Schmidt çekici, sonraki yıllarda yerbilimlerinin değişik disiplinlerindeki mühendislik projelerinde kullanılmıştır. Arazide kayaç, laboratuvarında blok veya silindirik örnekler üzerinde kolaylıkla kullanılabilmesi nedeniyle birçok araştırmacı tarafından tercih edilmektedir (Arloğlu 1983, Karpuz 1990, Bilgin ve ark., 1990).

Schmidt çekici ile sertlik ölçümü, tam esnek olmayan iki cismin çarpışması ve çarpışma anında oluşan deformasyonun tekrar eski durumuna gelmeye çalışması ile oluşan tepki prensibine dayanır (Hucka, 1965). Çekiç, belirli boyuttaki bir silindirik gövde içinde bulunan belirli ağırlıktaki bir kütle, çelik yay, tetik ve ölçme kadranından oluşur. Çekişte bulunan çelik uç, yay yardımıyla kurulur ve tetik serbest bırakılarak belli ağırlıktaki kütlenin ölçme yapılacak yüzey üzerinde zıplaması sağlanır. Geri tepme miktarı ölçme göstergesinden okunur. Schmidt Çekici Değerlerinin (SCD) yükselmesi görece daha sert elastik malzemeleri işaret eder. Ölçme yapılan yüzeyin pürüzlülüğü, kayacın homojenliği ve ölçme noktasının süreksizliklere olan yakınlığı alınan sonuçları etkileyen başlıca faktörlerdir.

Elde edilen sonuçları etkileyebilen bir diğer önemli faktör ise uygulanan ölçme yöntemidir. Literatürde birçok farklı ölçme yöntemine rastlanılmakla birlikte bunlardan

¹ Y. Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

² Doç. Dr., Anadolu Üniversitesi, Maden Mühendisliği Bölümü, Eskişehir

üç tanesi daha çok uygulama alanı bulmuştur. Bu çalışmada, söz konusu üç ölçme yöntemi, 19 değişik kayaç üzerinde uygulanarak ölçme yöntemleri arasındaki ilişkiler istatistiksel yaklaşımlarla irdelenmiştir. Yöntemler arasında anlamlı bir fark olup olmadığı, hangi yöntemler arasında fark bulunduğu araştırılmıştır.

Schmidt çekicinin birçok değişik tipi bulunmasına karşın kayaçlar üzerinde alınan ölçümler daha çok L ve N-tipi çekiçlerle yapılmaktadır. Bu nedenle, darbe enerjileri sırasıyla 0.735 Nm ve 2.210 Nm olan L ve N-tipi Schmidt çekiçleri bu çalışmanın kapsamına alınmıştır. Ölçmeler, çekiç yatay tutularak kayaç yüzeyine dik olarak yapılmıştır. Araziye çıkmadan önce çekiçlerin kalibrasyonu yapılmıştır. Ölçme öncesi, yüzeyler temizlenmiş ve yüzeyde bulunabilecek pürüzlülüklerin aşındırma taşı ile giderilmesine özen gösterilmiştir.

2. SCHMIDT ÇEKİCİ ÖLÇME YÖNTEMLERİ

2.1. Hucka Yöntemi

Bu yöntem, tekrarlamalı darbe yöntemi olarak bilinmektedir. Yöntemin esası, aynı nokta üzerine 10 vuruş uygulanması sonucunda elde edilen en yüksek değer in SCD olarak kabul edilmesidir. Hucka (1965), yapmış olduğu çok sayıda deneylerden elde ettiği verileri istatistiksel olarak değerlendirmiş ve en yüksek değere ait dağılımların, aritmetik ortalama dağılımına göre daha dar bir aralıkta bulunduğu belirlemiştir. Bu nedenle en yüksek SCD nin kullanılmasını önermiştir.

2.2. Poole ve Farmer Yöntemi

Poole ve Farmer (1980) çekiç değerlerinin normal dağılım göstermesi durumunda istatistiksel bir yaklaşım yapılabileceğini vurgulamışlardır. N-tipi Schmidt Çekici ile yapmış oldukları çalışmalar sonucunda, aynı nokta üzerine 5 vuruş yapılarak elde edilen en yüksek değer in SCD olarak kabul edilebileceğini öne sürmüşlerdir.

2.3. ISRM Yöntemi

Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği, ISRM (1978) tarafından önerilen ölçme yöntemi, kayaç yüzeyinde en az

3 mm aralıklarla 20 ayrı noktadan okuma yapılması ve en yüksek 10 değerin aritmetik ortalamasının SCD olarak kabul edilmesi şeklindedir.

3- YÖNTEMLERİN KARŞILAŞTIRILMASI

3.1.Verilerin Elde Edilmesi

Üç değişik Schmidt çekici ölçme yönteminin karşılaştırılmasında istatistiksel analiz metodları kullanılmıştır. 19 değişik magmatik, volkanik ve tortul kayaç üzerinde üç değişik Schmidt çekici okuma yöntemine göre veriler elde edilmiştir (Tablo 1). Her yöntem

Tablo 1.Ölçüm yapılan kayaç cinsleri ve yerleri

No	Petrografik ad ve yer
1	Marn, Tunçbilek-Kütahya
2	Marn, Tunçbilek-Kütahya
3	Marn, Tunçbilek-Kütahya
4	Andezit, Gümele-Eskişehir
5	Mermer, İncehisar-Afyon
6	Mermer, İncehisar-Afyon
7	Diabaz, Yozgat
8	Peridotit, Mayıslar-Eskişehir
9	Marn, Seyitömer-Kütahya
10	Marn, Seyitömer-Kütahya
11	Marn, Seyitömer-Kütahya
12	Tüf, Harlek-Kütahya
13	Mermer, Akçaköy-Kütahya
14	Mermer, Süpren-Eskişehir
15	Oniks, Bilecik
16	Mermer, Bilecik
17	Mermer, Bursa
18	Mermer, Cumhuriyet-Eskişehir
19	Granit, Istranca-Tekirdağ

L ve N-tipi çekiç kullanılarak tekrarlanmıştır. Bir kayaç örneği üzerinde L-tipi çekiçle 50 ve N-tipi çekiç için 50 adet veri alınarak toplam 100 adet ölçüm yapılmıştır. Poole ve Farmer, Hucka yöntemleri her kayaç üzerinde 3 kez tekrarlanmış, sonuçların aritmetik ortalaması alınmıştır. Tüm çalışma için alınan ölçme sayısı 1900 dür. Çalışmada istatistiksel parametreler elde edilirken tüm ölçümler, varyans ve t-testi uygulamalarında ise yöntemlerin sonuç

değerleri kullanılmıştır. Alınan ölçümlerin geniş bir aralıkta olmasını sağlamak amacıyla farklı litolojik özellikteki kayalardan seçilmiştir.

3.2. Karşılaştırma Yöntemleri

Schmidt çekicinin değişik ölçme yöntemlerinin karşılaştırılmasında istatistik yöntemler kullanılmıştır. Yöntemlerin temel istatistiksel parametreleri (aritmetik ortalama, varyans, standart sapma, vb.) karşılaştırılmıştır. Yöntemler arasında belirgin farklılık bulunup bulunmadığı varyans analizi ile sınanmıştır. Varyans analizi sonucunda farklılık bulunduğu gözlemlendiğinde, t-testi kullanılarak farklılığın hangi yöntemler arasında olduğu araştırılmıştır. L ve N-tipi Schmidt çekiçleri ile yapılan ölçümler ayrı olarak ele alınmış ve yorumları yapılmıştır.

3.2.1. İstatistiksel Parametrelerin Karşılaştırılması

L-Tipi çekiç ile yukarıda belirtilen üç yöntem denenmiş ve istatistik parametreler elde edilmiştir (Tablo 2).

Tablo 2. Değişik Ölçme Yöntemlerinin İstatistiksel Sonuçları (L-Tipi)

Yöntem	sayı	x	med	mod	s	dk	min	mak	ara	eğ	bas
Po. Far	235	37.32	39	44	8.81	0.24	12	53	41	-0.73	-0.22
Hucka	570	38.48	40	44	8.31	0.22	12	54	42	-0.72	-0.17
ISRM	380	32.8	35	36	10.2	0.31	11	51	40	-0.52	-0.70

Sonuçlar incelendiğinde, Poole ve Farmer yöntemi ile Hucka yönteminin birçok parametrede benzerlik gösterdiği, buna karşın ISRM yönteminin diğer yöntemlerden belirgin bir farklılığının olduğu anlaşılmaktadır. ISRM yönteminin aritmetik ortalama, medyan, mod değerleri diğer yöntemlere göre oldukça düşüktür. Buna karşın değişim katsayısı ise diğer yöntemlerden yüksektir. Bu durum, ISRM yönteminde farklı noktalardan elde edilen değerlerin daha düşük çıkma olasılığının Poole ve Farmer ve Hucka yöntemlerine göre yüksek olduğunu gösterir. Yöntemlerden elde edilen değerlerin histogramları incelendiğinde (Şekil 1), ISRM

yönteminde değerlerin % 20si SCD=20 nin altında kalmaktadır. Bu değerler Hücka'da %2, Poole ve Farmer'da % 6 olmaktadır.

N-Tipi çekiç ile aynı yöntemler denendiğinde (Tablo 3) elde edilen istatistiksel parametreler arasında belirgin farklılıkların bulunmadığı gözlenmiştir. ISRM yönteminin sadece aritmetik ortalama bakımından diğer yöntemlere göre düşük değerde, değişim katsayısı ve

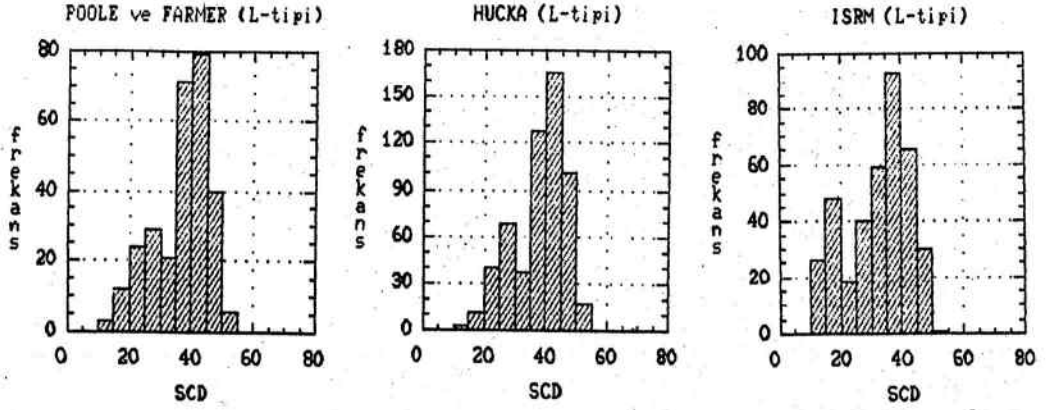
Tablo 3. Değişik Ölçüm Yöntemlerinin İstatistiksel Sonuçları (N-Tipi)

Yöntem	sayı	x	med	mod	s	dk	min	mak	ara	eğ	bas
Po. Far	235	52.82	58	60	11.4	0.22	22	69	47	-0.79	-0.51
Hucka	570	53.57	57	60	10.4	0.19	22	69	47	-0.74	-0.43
ISRM	380	49.03	55	58	14.1	0.29	18	69	51	-0.75	-0.85

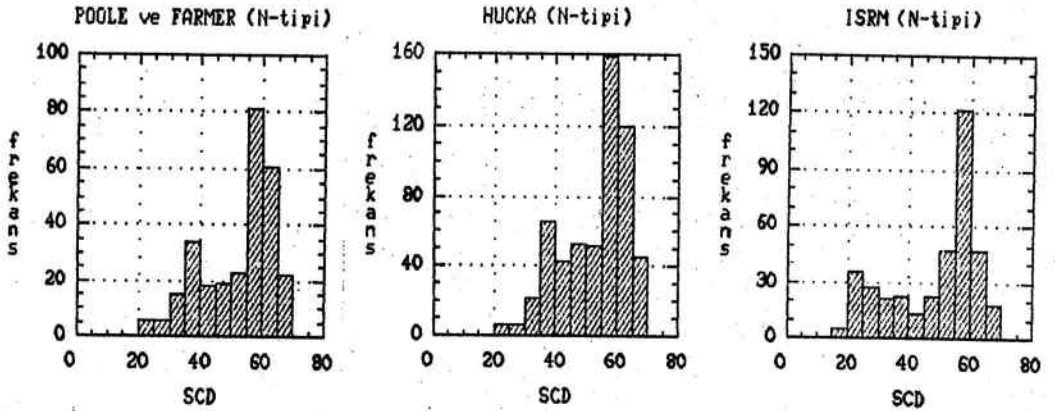
aralık bakımından ise yüksek olduğu belirlenmiştir. Diğer yöntemlerde 20nin altında SCD elde edilmezken, ISRM yönteminde toplam ölçmelerin % 1 i bu değer altındadır (Şekil 2). Saptanan bu farklılık L-Tipi çekiç ölçümlerinde gözlenen kadar fazla değildir.

3.2.2. Varyans Analizi

İkiden fazla grubun ortalamaları arasında anlamlı bir farkın olup olmadığının incelenmesi varyans analizi yöntemi ile yapılabilir. Genellikle, bu analizde toplanan tüm verilerin toplam varyansının değişik kaynaklardan ve kısımlardan oluştuğu düşünülür (Davis, 1973). Bu çalışmada, varyans analizi Schmidt çekici uygulama yöntemleri arasında anlamlı bir farkın bulunup bulunmadığının sınanmasında kullanılmıştır. Çalışmada iki tür değişim söz konusudur. Birinci değişim, kayaçların farklı oluşum ve litolojik özellikte olmasından kaynaklanmaktadır. İkinci değişim ise, kayaçlar üzerinde farklı ölçme yöntemlerinin uygulanmasından kaynaklanmaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada tek-yönlü varyans analizi yerine iki-yönlü varyans analizi uygulanmıştır. Elde edilen değerlere uygulanan iki-yönlü



Şekil 1. L -tipi çekiç değerlerine ait histogramlar.
a.Poole ve Farmer, b.Hucka, c.ISRM



Şekil 2. N-tipi çekiç değerlerine ait histogramlar.
a.Poole ve Farmer, b.Hucka, c.ISRM

varyans analizinde kayaçlar arasında belirgin fark bulunması doğaldır. Esas amaç, ölçme yöntemleri arasında belirgin fark bulunup bulunmadığının araştırılmasıdır.

İki-yönlü varyans analizinde değişimin iki ana kaynağı olduğu belirtilir (Davis, 1973). Toplam değişimden tanımlanan iki ana değişkenin çıkartılması sonucunda kalan, hata varyansıdır. Değişik kayaçlardan değişik yöntemlerle elde edilen veriler incelendiğinde (Tablo 4), farklı kayaçlardan kaynaklanan değişimin satırlar arası, farklı yöntemler arasındaki değişimin ise sütunlar arasında olduğu anlaşılır.

Varyans testinde uygulanan F-testi ile oluşturulacak istatistik hipotezde, sıfır (H_0) ve karşıt (H_1) olmak üzere iki hipotez bulunur. İki-yönlü varyans testinde ise, 2 sıfır ve 2 alternatif olmak üzere 4 adet hipotez bulunur.

Tablo 4. Değişik yöntemlerle elde edilen ölçüm sonuçları

No	POOLE ve FARMER		HUCKA		ISRM	
	L-tipi	N-tipi	L-tipi	N-tipi	L-tipi	N-tipi
1	38	47	38	49	33	41
2	41	55	43	56	39	54
3	39	48	40	50	28	41
4	50	65	50	65	49	62
5	39	63	43	63	34	59
6	42	60	43	60	35	58
7	46	61	49	62	36	58
8	45	55	45	55	45	55
9	29	37	31	38	19	28
10	28	42	29	44	21	34
11	26	38	28	41	18	26
12	26	38	30	43	13	23
13	44	62	46	62	42	58
14	48	61	49	62	43	61
15	43	62	44	62	38	60
16	51	68	53	68	47	66
17	50	62	50	62	41	59
18	45	59	46	60	40	56
19	40	68	48	69	45	68

Bu çalışmada hipotez ve karşıt hipotezler;

H_0 -sıfır hipotez:a.Tüm kayaçlar aynıdır.

b.Kayaçlara uygulanan yöntemler aynıdır.

H₁-karşıt hipotez:a.Tüm kayaçlar farklıdır.

b.Kayaçlara uygulanan yöntemler farklıdır.

Test edilen hipotezin belirli bir olasılık değerine göre kabul veya red edilmesi gerekmektedir. Testin anlam düzeyi olan bu değer çalışmada % 5 olarak alınmıştır.

İki-yönlü varyans analizinde uygulanan F-testlerinde, örnekler arası (sıralar) değişimin hataların değişimine oranı kayaçların farklılığını test eder. Sütunlar arası oluşan değişimin hataların değişimine oranı ise, yöntemler arasında farklılığın bulunup bulunmadığını ortaya çıkartır. Testin serbestlik derecesi ve anlam düzeyi sonucunda elde edilen kritik F-değeri ile elde edilen değerler karşılaştırılır. Elde edilen değer F-kritikten büyükse yöntemler arasında anlamlı bir farkın olduğu, eğer küçükse bir farkın olmadığı kabul edilir.

L ve N-tipi Schmidt çekici değerleri üzerinde yapılan iki-yönlü varyans testlerinden (Tablo 5,6), kayaçlar arasında belirgin farklılık olduğu anlaşılmıştır. Ölçme yöntemleri arasındaki farklılık test edildiğinde, yöntemler arasında belirgin bir farklılık olduğu belirlenmiştir. Bununla birlikte, yöntemler arasındaki farklılık L ve N-tipi çekiç için karşılaştırıldığında L-tipi ile yapılan ölçmelerdeki farklılığın, N-tipi ile olan farklılıktan daha fazla olduğu anlaşılmıştır. L-tipi çekiç için 50.61 olan F-değerinin, N-tipi çekiç için 20.60 olduğu gözlenmiştir.

Tablo 5: İki-yönlü Varyans Analizi (L-tipi)

Değişkenlik Kaynağı	Değişkenlik Miktarı	Serbestlik Derecesi	Tahmini Varyans	F-Test
Örn. Arası	4082.52	18	226.81	40.46
Yön. Arası	566.00	2	283.00	50.61
Hata	201.32	36	5.59	
Top. Varyans	4849.89	56		

Tablo 6: İki-yönlü Varyans Analizi (N-tipi)

Değişkenlik Kaynağı	Değişkenlik Miktarı	Serbestlik Derecesi	Tahmini Varyans	F-Test
Örn. Arası	6832.21	18	379.57	48.78
Yön. Arası	320.56	2	160.28	20.60
Hata	7432.88	36	7.78	
Top. Varyans	7432.88	56		

Örnekler arası F-kritik : 1.84

Yöntemler arası F-kritik: 3.32

3.2.3. Yöntemler Arası t-testi

Ölçme yöntemleri arasında belirgin farklılık bulunduğu varyans analizi sonucunda ortaya çıkmıştır. Bu nedenle, farklılığın hangi yöntemler arasında olduğu t-testi ile sınanmıştır. Örnek ortalamaları arasındaki farka dayanarak, bu iki yönteme ait değerlerin aynı toplumu temsil edip etmediği araştırılmıştır (Tablo 7,8).

Tablo 7. Yöntemler Arası t-testi Sonuçları (L-tipi)

Yöntemler	t-testi	SONUÇ
Po. Farmer-Hucka	-0.593	Kabul
Po. Farmer-ISRMR	1.891	Red
Hucka-ISRMR	2.431	Red

t-kritik:1.303

Testin anlam düzeyi:%10

Tablo 8. Yöntemler Arası t-testi Sonuçları (N-tipi)

Yöntemler	t-testi	SONUÇ
Po. Farmer-Hucka	-0.327	Kabul
Po. Farmer-ISRMR	1.101	Kabul
Hucka-ISRMR	1.408	Red

t-kritik:1.303

Testin anlam düzeyi:%10

edilen sonuçlar incelendiğinde L-tipi çekiç ile yapılan ölçmelerde, ISRMR yönteminin diğer yöntemlerden farklı

olduğu, Poole ve Farmer ile Hucka yöntemlerinin benzerlik gösterdiği anlaşılmıştır. N-tipi çekiç ile yapılan ölçmelerde ise ISRM ile Hucka yöntemleri arasında belirgin bir farklılık olduğu gözlenmiştir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER

Schmidt Çekici uygulama yöntemleri arasında 19 farklı kayaç cinsi üzerinde iki değişik tip çekiç ile yapılan ölçümler sonucunda elde edilen değerler istatistik yöntemler kullanılarak incelenmiştir. Varılan sonuçlar aşağıda belirtilmiştir:

a. İstatistiksel parametreler yorumlandığında, ISRM yönteminin diğer yöntemlerden farklı olduğu belirlenmiştir. Bu fark, L-tipi çekiç ile elde edilen değerlerde daha belirgindir.

b. Değişik çekiçle değişik yöntemler uygulanması sonucu elde edilen histogramlar incelendiğinde, ISRM yönteminin diğer yöntemlerden farklılığı ortaya çıkmaktadır. ISRM yönteminden elde edilen değerlerin L-tipinde %20 si, N-tipinde ise %1 i $SCD=20$ nin altında kalmaktadır.

c. Ölçme yöntemlerinin farklılıkları iki-yönlü varyans analizi ile test edildiğinde, en az bir yöntemin diğer yöntemlerden farklı olduğunu ortaya koymuştur. Farklılık, her iki tip çekiç için de geçerlidir.

d. Ölçme yöntemlerinin benzer ve farklı olanlarını saptamak amacıyla yapılan t-testi sonucunda ise, Poole ve Farmer ile Hucka yöntemleri arasında benzerlik bulunduğu, buna karşın ISRM ile bu yöntemler arasında anlamlı bir farklılık bulunduğu anlaşılmıştır.

Yukarıda belirtilen sonuçlar doğrultusunda, ISRM yönteminin diğer yöntemlere göre farklılığının, bu yöntemde her ölçüm noktasının değişik noktalarda seçilmesinden kaynaklandığı sanılmaktadır. Poole ve Farmer ve Hucka yöntemlerinde aynı noktaya uygulanan çekiç, ilk vuruşlarından sonra kayaca, kayacın özelliğinin üstünde bir dayanım kazandırdığı düşünülmektedir. Aynı noktadan elde edilen Schmidt çekiç değerlerinin, değişik

tür kayaçlarda vuruş sırasına göre değişiminin incelenmesi gerekmektedir. Yöntemler arasında çok daha belirgin bir farklılık gösterdiğinden, L-tipi Schmidt çekici yerine, kayacın indeks parametresi olarak N-tipi çekiç kullanılmasının daha güvenilir olacağı düşünülmektedir.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

Arıoğlu, A., 1983, Uzunayak Üretim Yönteminde Schmidt İndeks'iyle Tavan-Arazi Kontrol Büyüklüklerinin Kestirimi, Türkiye Madencilik Bilimsel ve Teknik 11.Kongresi, 24-28 Nisan, Ankara, s.245-257.

Bilgin, N. ve arkadaşları, 1990, Roadheaders Glean Valuable Tips for Istanbul Metro, Tunnels and Tunnelling, October, p.29-32.

Davis, J.C., 1973, Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley and Sons, Inc., 550 p.

Hucka, V., 1965, A Rapid Method for Determining the Strength of Rocks in situ, Int. J. Rock Mech. Min. Sci.,v.2, p.127-134.

ISRM, 1978, Suggested Methods for Determining Hardness and Abrassiveness of Rocks, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr., v.15, p. 89-98.

Karpuz, C., 1990, A Classification System for Excavation of Surface Coal Measures, Mining Science and Technology, v.11, p.157-163.

Poole, R.W. and Farmer, I.W., 1978, Geotechnical Factors Affecting Tunnelling Machine Performance in Coal Measures Rocks, Tunnels and Tunnelling, December, p.27-30.

ULUSLARARASI KAYA MEKANİĞİ SEMPOZYUMU YAPILDI

Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği'nin(ISRM) desteklediği, Japon Kaya Mekaniği Derneği ve TMMOB Maden Mühendisleri Odası'nın katılımı ile Derneğimiz öncülüğünde düzenlenen **"Kaya Mühendisliğinde Yenilme Olgusunun Belirlenmesi ve Önlenmesi (Assessment and Prevention of Failure Phenomena in Rock Engineering)"** konulu Uluslararası Sempozyum **5-7 Nisan 1993** tarihlerinde İstanbul Hotel the Marmara salonlarında gerçekleştirildi.

Sempozyum ile ilgili rakamsal bilgiler şöyle : Türkiye dışında 28 ülkeden gönderilen 145 bildiri (136 yurtdışı, 9 yurtiçi) sempozyum kitabında yer aldı; bu bildirilerden 92'si sempozyum esnasında sunuldu ve tartışıldı; sempozyuma 80'i Türkiye'den olmak üzere toplam 204 delege katıldı; yurtdışından gelen delegelerin yanında eş ve çocuklarından oluşan 38 konuk kendileri için düzenlenen İstanbul şehiriçi gezilerine katıldılar; sempozyum sonrası için düzenlenen Ankara-Kapadokya-İzmir'i kapsayan teknik-turistik geziye ise 52 yabancı konuk katıldı.

Bildirilerin yer aldığı bildiriler kitabı üniversitelerimiz ve bazı kamu kurumları kütüphanelerine gönderilmiştir. Sempozyum kitabında yer alan bildirilerin listesi ekte sunulmuştur.

CONTENTS

Special lectures

Assessment of cut slope stability by means of back analysis of measured displacements
S. Sakurai

Numerical back analysis techniques for rock engineering
A. Cividini & G. Gioda

The micromechanics of deformation and failure in rocks
J.M. Kemeny

Physical and discrete element models of excavation and failure in jointed rock
N. Barton

Elasto-plastic analysis of anisotropic damage mechanics problems
S. Valliappan & Z. Wohua

Two dimensional damage failure propagation model of jointed rock mass
G. Swoboda & F. Ito

Disturbed state model for behavior of rock joints
C.S. Desai & Y. Ma

1 Localization, damage and fracturing theory

A model of anisotropic damage by (micro) crack growth
A. Dragon, Ph. Charlez, D. Pham & J.F. Shao

The macro-damage mechanics of jointed rock mass
Xinping Li, Ruigeng Zhu & Weisten Zhu

On the properties of complete stress-strain testing curve of rock
Zheng Hongtai & Guo Peijun

An elasto-plastic analysis for deformation-failure behaviour of the rock specimen
H.K. Lee

Mechanical properties and failure of porous rock
N. Tokashiki, Ö. Aydan, T. Kyoya & Y. Ichikawa

Anisotropic yield and failure of shale
H. Niandou, J.F. Shao & J.P. Henry

The study of rock deformation in post failure conditions
V.A. Mansurov

Failure phenomena and strain localization in rock mechanics and rock engineering: A phenomenological description
Ö. Aydan, T. Ito & Y. Ichikawa

Strain localization problem in rock mechanics
T. Ito & Y. Ichikawa

Shear band formations for rock-like materials at finite deformation
C. Yatomi, L. Szabo & K. Nakagawa

Analysis of rock fracture under the localization of shear deformations
V.V. Silberschmidt

Experimental detection of shear bands in a sandstone

A.Haied, D. Kondo & J.P. Henry

A two dimensional study on jointed rock deformability

P.H.S.W. Kulatilake, H. Ucpirti, & O. Stephansson

Analysis and calculation of strength of a jointed rock mass in consideration of tensile failure

Hou Zhongjie

Strength of regularly jointed media

A.B. Fadeev & V.V. Kuzevanov

Mechanical behaviour and failure of rock masses having distributed sets of cracks of finite length

T. Seiki, Ö. Aydan, F. Ito & Y. Ichikawa

Rock and masonry-an interdisciplinary look at two related materials

C. Dialer

The propagation of shear cracks near tabular stop

A.N. Galybin & V.N. Odintsev

Critical conditions for a tunnel in a strain-softening rock

A. Graziani & R. Ribacchi

Failure and creep failure around an underground opening

N. Cristescu

The mechanism of failure of layered rock mass over workings

K.N. Trubetskoy & M.A. Iofis

Effects of shape, rock anisotropy and stress field upon the development of yield zones around tunnels in rock

R. Boughrarou, D.J. Reddish & B.N. Whittaker

The effect of pillar size and shape, and the geometry of the pillar array, on strength and failure

D.L. Hopkins

Numerical modelling of strata failure and gas flow patterns around longwall faces

Ş. Durucan, T.S. Daltaban & J.Q. Shi

The effect of rock properties on the character of potential failure of large underground openings

I.M. Iofis

Kinetic model of failure of rock for numerical analysis of underground constructions stability

A.D. Borulev, V.V. Samarin, A.V. Talonov & B.M. Tulinov

Proposal for a probabilistic model on the stress-strain relation of rock and its application to some rocks

H. Tano

Investigations on stress state near the neighbouring fractures by boundary element method

S.N. Savchenko & A.A. Kozrev

Study of stressed state of "Dam-Foundation" system with regard to non-linear deformations

Yu.B. Mgalobelov, V.P. Tveritnev, A.V. Konviz & T.Yu. Mgalobelova

2 Laboratory and in-situ testing

Displacements of fractures during an in-situ freezing and thawing test

K. Watanabe, S. Takeda, T. Yamabe, K. Ishiyama & P. Bossart

Scrutinizing the vacuum permeability test as a method of detecting loosened area in rock mass
A. Nakayama, T. Kawatani & S. Sakurai

In-situ stress determination in anisotropic rock by hydraulic fracturing and overcoring tests
R. Crivelli, P. Devin, S. Guido, P.P. Rossi & A. Zaninetti

Pull-out tests of rock anchors and their failure modes
Ö. Aydan, S. Ebisu & S. Komura

Conical-ended borehole technique for rock stress measurement and its applications
T. Nakayama, Y. Obara, K. Sakaguchi & K. Sugawara

In-situ tests and numerical analysis of excavation disturbed zone around a drift in Neogene sedimentary rock
K. Kamemura & K. Sugihara

Direct tensile test for the evaluation of rock fracture mechanics parameters
C. Scavia, A. Zaninetti & R. Crivelli

Torsion-compression in rocks
J.M. Siwak & J. Prevost

Effect of strain rate on strength and frequency dependence of fatigue failure of rocks
Y. Ishizuka, H. Koyama & S. Komura

Failure characteristics of coal measure rocks
H. Gerçek & Y.V. Müftüoğlu

Direct observation of microcracking and subsequent failure in quartz feldspar rock (bisphere) under uniaxial compression
G.C. Jeong, Y. Ichikawa & T. Kawamoto

Effects of specimen size and geometry on post-failure behavior of coal
A. Wahab Khair

Index properties and acoustic emission in some Chilean rocks
P.M. Acevedo & S.A. Medrano

The three dimensional swelling behaviour of clay bearing rocks
A.G. Paşamehmetoğlu, T. Bozdağ & M.M. Yeşil

3 Model tests

Cementitious seal design in welded tuff
H. Akgün & J.J.K. Daemen

Stability model studies of underground caverns for the Rogun hydro power plant machine hall
E.A. Freiberg, A.A. Nikitin & I.A. Grigoriev

Pillar design aspects for stability in deep coal mines
B.N. Whittaker, T. Ünlü, D.J. Reddish & S.F. Smith

Failure phenomena around shallow tunnels in jointed rock
M. Karaca & P. Egger

The experimental study on the reinforcing effect of rock-bolt and its optimum design as tunnel support
T. Tsuchiya

Rock failure and deformation development around mining tunnels with reference to seam inclination
G.C. Parsons, D.J. Reddish & B.N. Whittaker

Development of a new base friction technique and its application to geotechnical study

T. Esaki, A. Aikawa, Y. Jiang & Y. Mitani

Post-failure motions of rock slopes

Ö. Aydan & Y. Shimizu

Mechanism of failure of artificial jointed rock due to ripper penetration

M.R. Jafari, G. Mostyn & F. MacGregor

Numerical analysis and model test of rock wedge in slope

S.H. Chen

The action of water on key blocks

M. Karaca & R.E. Goodman

4a Case histories: Underground openings

Analysis of exploitation mine room instability in weak rocks

O.D. Greco, A.M. Ferrero, C. Oggeri & D. Peila

Geomechanical investigations in the silus mine

P. Berry, A. Bonini, M. Cravero & G. Iabichino

Study on stability evaluation of the underground openings in the abandoned "Ohya Stone" quarries

S. Kikuchi, K. Oka, K. Tokunaga & Y. Mizuta

A study of floor heave in two South African collieries under different conditions

T.T. Ozan & S. Budavari

Study on characteristics of tunnelling by TBM in Hong Kong

K. Ishiyama, H. Ichikawa, T. Hirano, N. Arai, T. Inaba & K. Nakagawa

Tunnels in squeezing rock: Failure phenomena and counteractions

W. Schubert & P. Schubert

Forecast and stability monitoring of Zhinvali Project tunnel on basis of geophysical data

M.G. Ezersky, M.S. Rudjak & V.V. Zhdanov

Progressive piping failure of a railway tunnel under thick cover rock of 80 m. at Mt. Ikoma, Osaka

T. Adachi, K. Miyoshi, M. Sawada & Y. Iwasaki

Stability problems effecting the performance of a full face tunnel boring machine in Istanbul-Baltalimanı tunnel

N. Bilgin, E. Nasuf & M. Çiğla

Analysis of stability of an underground opening in Central Appenines

M. Cravero, A. Garino & N. Innaurato

4b Case histories: Surface structures

Rock failures associated with 1990 Manjil, Iran earthquake

S.M.F. Aghda, J. Ghayoumian, M.A.N. Sadat & S. Suzuki

Collapse of cut slope of weathered tertiary mudstone ground

H. Yamaguchi

Characteristics and geotechnical considerations of translational rock slides in a strip coal mine, SW Turkey

R. Ulusay & V. Doyuran

Stability analysis of a natural rock arch

Y. Ohnishi, K. Arai & M. Nakagawa

Preferred orientation of granite joints in Oshima, Southwest Japan

K. Hisanaga, Y. Kudo, O. Sano & K. Nakagawa

Slope stability analysis in K.B.I. Murgul copper mine of Türkiye

E. Nasuf, Ş. Eskikaya, N. Bilgin, H. Çopur & R. Kont

Slope failure triggered by reshaping of the valley side at the Esaro Dam

L. Belloni & P. Sordi

Rock slope failures-Geological reasons and methods of stabilization

C. Schober

Slope stability problems associated with geological structures in Çan lignite mine

S. Kulaksız & A. Özgenoğlu

Influence of historic landslides in design of the Borax open pit mine

N. Türk & M.Y.Koca

5 Dynamic fracturing and blasting

Re-analysis of the rockburst mechanism and discussion on the gradation of the rockburst intensity

H. Failing & L. Xiaoming

Rockbursts in mines of Talnakh complex deposits. Prediction and prevention

L.V. Shaumian

Rockburst damage potential assessment

P.K. Kaiser, P. Jesenak & R.K. Brummer

A consideration on the mechanism of rockbursts occurring in a tunnel

A. Hirata, T. Hirano, Y. Tanaka, N. Arai, H. Matsuda & Y. Kameoka

Estimation of the rock mass strained state and danger of rock bumps when mining flat ore deposits

T.M. Urumov, E.V. Faidel, Sh.M. Aitaliev & M.A. Kayupov

Fractures and evaporation rates distribution around some blast hole traces on tunnel wall

K. Watanabe, T. Tanaka & N. Nakamura

Some observation on the dynamic behavior of jointed rock slopes under seismic loading

M. Maugeri, S. Wang & J. Zhang

Dynamic stability of the left abutment in Xiaolangdi project on the Yellow River

S. Wang, S. Xue, M. Maugeri & E. Motta

Mechanism of fractured zone formation in support pillar at blasting

A.Zh. Kushtayev, K.K. Tulebayev & A.M. Artemyev

Mechanism of extraction chamber immediate roof rock breaking in blasting

V.N. Shashkin, T.M. Ermekov, M.G. Abuov & V.G. Yakovenko

Preconditioning rock mass by blasting - A measure to alleviate failure

H. Hakami

6 Prevention: Supporting and reinforcement

Quantitative evaluation of effect of pattern bolting by the homogenization method

T. Kyoya & T. Kawamoto

Strata bolting in longwall gateroads

K. Matsui, H. Furukawa & H. Oka

Plane equilibrium of rock slopes with anchors

M.S. Kovacevic, I. Jasarevic & Z. Kulic

Modelling of the internal pressure effects of a support system consisting of shotcrete, rockbolts and steel ribs

M. Sezaki & Ö. Aydan

Recent developments in rock reinforcement applied to longwall mining operations

E. Akyol, D.J. Reddish & B.N. Whittaker

Mechanism of interface failure of rock anchors

S. Ebisu, Ö. Aydan & S. Komura

Numerical simulation of the effects of rock bolting in failure zones

R. Pöttler

Stabilization of unconsolidated backfill at Tara Mine

M. Guarascio, M. Antonietti, R. Fry & F. Gallavresi

Geomechanical control of mining in high-stressed rock mass

N. Melnikov, A. Kozyrev & V. Panin

Preventing failure by the Systems Design Methodology for rock engineering

Z.T. Bieniawski

Reducing the risk of rockbursts by using backfill

A.B. Fourie, R.G. Gürtunca & E. Wendland

Failure prevention in pillar recovery under a very stiff roof

P.R. Oyanguren & J.A. Antolin

7 Assessment and prediction: Theoretical approach, measurements, back analysis

The problem of big plane viscoelastic and plastic strains

Yu. A. Veksler, G.A. Esenbayeva, S.B. Kolokolov & S.K. Tutanov

Qualitative prediction of failures around non-circular openings

H. Gerçek

Fractal methods in analysis of fracture development in rocks

V.V. Silberschmidt & V.G. Silberschmidt

Slope stability assessment by using inter-slice force transmission theory

H. Kumsar & B. Denby

A proposal for a quantitative estimation method for the possibility of accidents under tunnel construction by the fuzzy clustering method

S. Suzuki, K. Kurukawa, K. Nakagawa & Y. Inoue

Squeezing under high stress conditions

A.K. Dube

Stability of rock blocks. Evaluation of failure probabilities by the Monte Carlo and First Order Reliability methods

J. Muralha & U. Trunk

A method for the prediction of the squeezing potential of rocks around tunnels

Ö. Aydan, T. Akagi & T. Kawamoto

An evaluation system for slope-failure possibility factors using fuzzy set theory

K. Nishi, K. Furukawa & K. Nakagawa

Estimation of the probability of superincumbent rock caving in case of repeated mining of flat deposits

E.I. Rogov, M.Zh.Bitimbaev & S.M.Bekbaev

Recognition of excavation failure conditions by using knowledge-bases

M.K. Gökyay & J.A. Hudson

Estimation of gas flow through rock fractures

A. Nakayama, T. Kawatani, S. Sakurai, M. Nakata & H. Yamachi

Assessment of slope stability from post failure deformation of rock mass

I.T. Aitmatov, A.K. Abdildaev & K.Ch. Kojogulov

Investigation method for oldaged tunnels

S. Taniguchi, T. Yasuda & S. Kamewada

Behavior of discontinuous rock during large underground cavern excavation

Y. Uchita, T. Harada & M. Urayama

Performance of a large cavern during excavation

T. Miyaguchi, S. Tsuchiyama, Y. Momose & K. Hattori

Comprehensive monitoring in river bed portion of Inguri Dam foundation

A.I. Savich, V.I. Bronshtein, M.M. Ilyin, V.N. Andreev, Yu.M. Gorshkov, I.V. Youdina & I.A. Turina

The application of time series analysis in the underground engineering

H.Y. Tian & R.Jian-xi

Prediction of calamitous breaking movement of roof stratum at steep thick seams

S. Pinwu & Z. Hongwei

Prevention of the failure of the backfilling concrete in vertical deposit minings

F.H. Hassen, J. Fine, E. Tincelin & M. Capobianco

Estimation of underground mining effects on mine structures in case of a discrete deformation of rock mass

A.D. Sashurin

Estimation of hydrofractures in discontinuous rocks by acoustic emission monitoring

M.Seto, M. Utagawa & K.Katsuyama

A back-analysis of the off-reef strata displacements within the proximity of stabilizing pillars in deep mines in South Africa

H. Yilmaz, M.U. Özbay, S.M. Spottiswoode & J.A. Ryder

Deformational behaviour of a large underground opening and its back analysis

T. Tsuchiyama, Ö. Aydan & Y. Ichikawa

A consideration of the failure of Mt. Mayuyama in 1792 from rock mechanistic view point

Y. Misawa, Ö. Aydan & M.Hamada

Several toppling failures in Japan and their back analysis

Y. Shimizu, Ö. Aydan & T. Kawamoto

Design of Measurement Configuration for proper assessment of parameters and stress state of rock mass

S. Akutagawa

8 Numerical modelling and analysis: FEM, DEM & BEM

Dual boundary control procedures for identifying material parameters

Y. Ichikawa & T. Okhami

A FEM study on the visco-plastic behaviour of weak rock

J. Yamatomi & G. Mogi

Finite element stability analysis in strain softening weak rocks

A. Cividini, G. Gioda & A. Anzani

Unified analysis of continuous and discontinuous behaviour of the ground by CEM (contact element method)

M. Hisatake & T. Murakami

Finite element modelling of rock drilling

R. Charlier & J. Pierry

Coupled boundary element-characteristics method and its application to elasto-plastic problems in rock engineering

Y. Obara, T. Nakayama, K. Sugawara, H. Okamura & M. Akimoto

Equivalent Volume Defect Model and its application to jointed rock

K. Kaneko, Y. Tanaka & Y. Noguchi

Numerical modelling of failure in cracked materials by fracture mechanics

D. Kondo & J.P. Henry

Application of the displacement discontinuity method to the modelling of crack growth around openings in layered media

J.A.L. Napier & M.U. Özbay

A distinct element methodology to study the effect of finite size joints on rock mass mechanical properties in three dimensions

S. Wang & P.H.S.W. Kulatilake

Application of the DDA method to rock engineering

M.R. Yeung

Finite element modelling of jointed rocks. Application to the tunnelling

R. Charlier & M.E. Kiri

An analysis of failure mechanism in longwall faces using BEM

İ. Sel, A.G. Paşamehmetoğlu & D. Sarı

Study on arranging way and computational method of anchor supporting

X. Ming

