



**Kaya Mekaniği
Bülteni
Ocak 1992**

7-8

**Tortul Kayaçalarda Elastisite Modülü ile
Basınç Dayanımı Arasında Çıkartılan
Regresyon İfadeleri**

**E. ARIOĞLU
N. TOKGÖZ**

**Kaya Mekaniği Problemlerinin Çözümünde
Modelleme ve Benzetim İlkeleri**

**M. VARDAR
Y. MAHMUTOĞLU**

**Beypazarı Trona Sahasındaki Kayaçların
Zamana Bağlı Dayanım Parametrelerinin
Araştırılması**

**M. VARDAR
H. BAYRAKTAR**

Kayalarda Isının Yumuşama Özelliğine Etkisi

N. KÖKSAL

**Makaslama Dayanımının Belirlenmesi İçin
Önerilen Yöntemler**

M.A. HİNDİSTAN

**Su İçeriği, Gözeneklilik, Yoğunluk, Emme
ve İlgili Özelliklerin Belirlenmesi İçin
Önerilen Yöntemler**

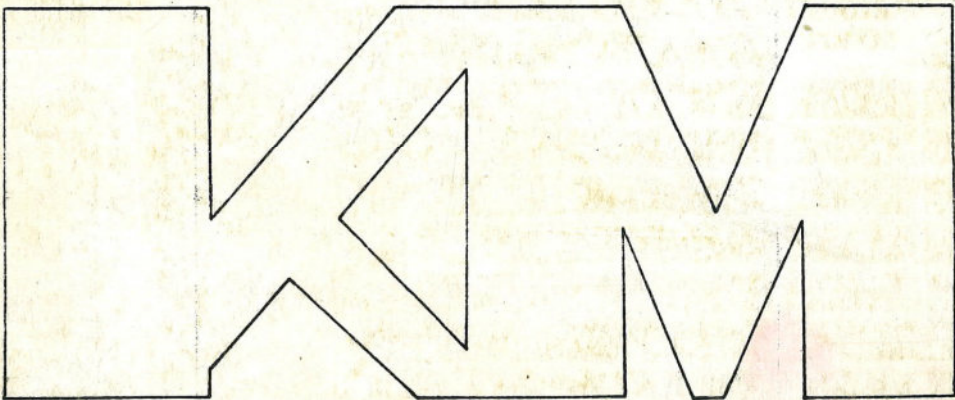
İ. SEL

**Kabarma ve Suda Dağılım Dayanım İndeks
Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Önerilen
Yöntemler**

D. SARI

**Kayaların Sertlik ve Aşınabilirliklerinin
Belirlenmesi İçin Önerilen Yöntemler**

B. ERDEM



TÜRK ULUSAL KAYA MEKANİĞİ DERNEĞİ

YÖNETİM KURULU

Başkan : Prof.Dr. Günhan PAŞAMEHMETOĞLU (Maden Müh.Böl., ODTÜ)
Başkan Yrd. : Mesut ÇETİNÇELİK (DSİ Gn.Md.lüğü - ANK.)
Genel Sekreter : Doç.Dr. Abdürrahim 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. Bülent KİPER (BK Mühendislik, ANK.)
Dr. Reşat ULUSAY (MTA Gn.Md.lüğü, ANK.)

YAYIN KURULU

Yönetim Kuruludur.

Yazışma Adresleri:

- Doç.Dr. Abdürrahim ÖZGENOĞLU
Genel Sekreter
Maden Müh. Böl.- ODTÜ
06531 - ANKARA
Tel: (4) 2237100/2655
- Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği
P.K. 311 06423 Kızılay - ANKARA

Tortul Kayaçalarda Elastisite Modülü ile
Basınç Dayanımı Arasında Çıkartılan
Regresyon İfadeleri

E. ARIOĞLU
N. TOKGÖZ

Kaya Mekaniği Problemlerinin Çözümünde
Modelleme ve Benzetim İlkeleri

M. VARDAR
Y. MAHMUTOĞLU

Beypazarı Trona Sahasındaki Kayaçların
Zamana Bağlı Dayanım Parametrelerinin
Araştırılması

M. VARDAR
H. BAYRAKTAR

Kayalarda Isının Yumuşama Özelliğine Etkisi

N. KÖKSAL

Makaslama Dayanımının Belirlenmesi İçin
Önerilen Yöntemler

M.A. HİNDİSTAN

Su İçeriği, Gözeneklilik, Yoğunluk, Emme
ve İlgili Özelliklerin Belirlenmesi İçin
Önerilen Yöntemler

İ. SEL

Kabarma ve Suda Dağılım Dayanım İndeks
Özelliklerinin Belirlenmesi İçin Önerilen
Yöntemler

D. SARI

Kayaların Sertlik ve Aşınabilirliklerinin
Belirlenmesi İçin Önerilen Yöntemler

B. ERDEM

— 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 aralıklı daktilo ile yazılmış olmalıdır. Eğer metinler bilgisayarda herhangi bir editör programı aracılığıyla yazılmışsa, metin dosyasının da içinde bulunduğu bir bilgisayar disketi de eklenmelidir.

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

Şekiller teknik çizim normlarına uygun olarak çini mürekkebi ile aydınır 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,

Temmuz 1991 sayımızı malî yetersizlikler sonucu çıkaramadık. Ancak bir yıllık bir aradan sonra sizlere iki sayı olarak ulaşmanın sevinci içindeyiz. Bu sayımızda, artık ülkemizde yaygın kullanıma sahip olmaya başlayan ve Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM) tarafından oluşturulan komisyonlarca hazırlanan Kaya Mekaniği Laboratuvar deneylerinin geriye kalan kısımlarının çevirileri ile Kaya Mekaniği dalında ülkemizde gerçekleştirilen özgün çalışmaların ürünü olan makalelere yer vermekteyiz.

İlk makale sayın Prof. Dr. Ergin ARIÖĞLU ve Nuray TOKGÖZ tarafından kaleme alınmıştır ve Tortul kayalarda elastisite modülü ile basınç dayanımı arasındaki istatistiki ilişkileri araştırmaktadır. Daha sonra sayın Prof. Dr. Mahir VARDAR ve Yılmaz MAHMUTOĞLU, makalelerinde kaya mekaniği problemlerinin çözümünde modelleme ve benzetim ilkeleri üzerinde durmuşlardır. Takip eden makale yine sayın Prof. Dr. Mahir VARDAR ve Haluk BAYRAKTAR'ın Beypazarı trona sahasındaki kayaların zamana bağlı dayanım parametrelerinin araştırılması üzerinedir. Sayın Dr. Nejdett KÖKSAL makalesinde kayalarda ısının yumuşama özelliğine etkisini incelemiştir.

Bültenimizin bu sayısında 6. sayıda ara verilen ISRM deney standartlarının kalan kısımlarının çevirileri yer almıştır. Bunlar sırayla "Makaslama dayanımının belirlenmesi için önerilen yöntemler", "Su içeriği, gözeneklilik, yoğunluk, emme ve ilgili özelliklerin belirlenmesi için önerilen yöntemler", "Kabarma ve suda dayanım indeks özelliklerinin belirlenmesi için önerilen yöntemler" ve son olarak da "Kayaların sertlik ve aşınabilirliklerinin belirlenmesi için önerilen yöntemler" deney metodlarıdır.

Birinci paragrafta belirttiğimiz gibi sizlere bültenimizi zamanında ulaştırabilmek için Derneğimizin gerekli harcamalarının tek gelir kaynağı olan 1992 yılı ve varsa geçmiş yıllara ait üye aidatlarını yatırmada daha hassas davranacağınıza inanıyoruz.

Tüm üyelerimize ve okurlarımıza gelecek sayılarda buluşmak üzere saygılarımızı sunarız.

Yönetim Kurulu

TORTUL KAYAÇLARDA ELASTİSİTE MODÜLÜ İLE BASINÇ DAYANIMI ARASINDA
ÇIKARTILAN REGRESYON İFADELERİ

Ergin ARIÖĞLU^(*)

Nuray TOKGÖZ^(**)

1. GİRİŞ

Bu çalışmamızda; çeşitli literatürde rapor edilen, tortul kayalar üzerinde laboratuvarında gerçekleştirilen "elastisite modülü" - "tek eksenli basınç dayanımı" deneylerine ait datalar regresyon analiziyle değerlendirilerek anılan jeomekanik büyüklükler arasında "en anlamlı" regresyon bağıntıları araştırılmıştır. Ayrıca, çıkartılan ifadeler regresyon analizinde kullanılmayan datalar ile tahkik edilerek verilen ifadenin nümerik prezisyon mertebesi belirlenmeye çalışılmıştır.

Regresyon analizinde kullanılan dataların alındığı kaynaklar ayrıntılı bir şekilde Çizelge-1'de gösterilmiştir.

2. KAYNAK BAZINDA ELASTİSİTE MODÜLÜ-BASINÇ DAYANIMI ARASINDA ÇIKARTILAN REGRESYON BAĞINTILARI

Çizelge-1, regresyon analizinde kullanılan datalara ait bilgileri (litolojik tür, numune sayısı, numune boyutları) ve elastisite modülü ile basınç dayanımı arasında "kaynak bazında" elde edilen regresyon ifadelerini anlamlılık test sonuçları ile birlikte vermektedir.

(*) Prof.Dr. Müh., İ.T.Ü. Maden Fakültesi, Maden Mühendisliği Bölümü
Maslak, İstanbul

(**) İ.T.Ü. Maden Fakültesi, son sınıf öğrencisi

Çizelge-1 Regresyon Analizinde Kullanılan Data'lara İlişkin Bilgiler ve Kaynak Bazında Elastisite Modülü ile Basınç Dayanımları Arasında Çıkarılan Regresyon İfadeleri ve Anlamlılık Testleri

Kaynak	LİTOLOJİ	LABORATUAR KOŞULLARI			REGRESYON MATEMATİĞİ İLE DEĞERLENDİRME		
	Tortul Kayac Cestileri	Numune Sayısı n_p	Boy/Çap Oranı "L:D"	Yükleme Hızı	Regresyon İfadesi $[E_t = a_b \cdot (MP_a)^b - E_t \cdot (MP_a)]$	Korrelasyon Katsayısı r_{p-m}	Anlamlılık Testi $t = r \cdot \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$
MURKER (1959)	- Kumtaşı - Kireçtaşı - Seyl - Silttaşı	6	-	-	$E_t = 0.28 \cdot 10^{-5} \cdot 83$	0.800	$2.667 \cdot t$ 0.1; 6.2 -4 -2.13
					$E_t = 0.57 \cdot 10^{-5} \cdot 870$	0.894	$3.998 \cdot t$ 0.02; 6+2 -4 -3.75
DHİR-SANDHA (1972)	- Kumtaşı - Kireçtaşı	6	2.5:1	3.7 N/oz mm/sn	$E_t = 0.19 \cdot 10^{-5} \cdot 4.86$	0.936	$5.318 \cdot t$ 0.01; 6+2 -4 -4.00
					$E_t = 0.93 \cdot 10^{-5} \cdot 0.49$	0.875	$3.615 \cdot t$ 0.05; 6+2 -4 -2.78
LATA - PUTUWARI (1978)	- Dolomit - Kumtaşı - Kireçtaşı - Seyl - Silttaşı	9	-	-	$E_t = 0.15 \cdot 10^{-5} \cdot 21.6$	0.914	$1.326 \cdot t$ 0.2; 9+2 -7 -1.42
					$E_t = 1.93 \cdot 10^{-5} \cdot 0.63$	0.557	$1.778 \cdot t$ 0.2; 9+2 -7 -1.42
WILSON (1980)	- Kumtaşı - Silttaşı - Çamurtaşı - Siltli Çamurtaşı - Marm	148	2.5:1	-	$E_t = 0.31 \cdot 10^{-5}$	-	-
					$E_t = 1.06 \cdot 10^{-5} \cdot 3.79$	0.863	$20.313 \cdot t$ 0.01; 148+2 -146 -2.63
DUNNIS ve arkadaşları (1982)	- Kumtaşı - Bitümlü Silt	75	2.5:1	-	$E_t = 0.13 \cdot 10^{-5} \cdot 2.42$	0.715	$2.727 \cdot t$ 0.01; 75+2 -73 -2.52
					$E_t = 0.15 \cdot 10^{-5} \cdot 3.46$	0.708	$10.958 \cdot t$ 0.01; 75+2 -73 -2.51
DELL (1982)	- Kumtaşı - Kireçtaşı - Silttaşı - Seyl	16	2.5:1	-	$E_t = 0.285 \cdot 10^{-5} \cdot 12.5$	0.850	$6.017 \cdot t$ 0.01; 16+2 -14 -2.90
					$E_t = 1.21 \cdot 10^{-5} \cdot 0.703$	0.922	$7.826 \cdot t$ 0.01; 16+2 -14 -2.90
SACHSAPATIS (1990)	- Kireçtaşı - Dolomit	23	2.5:1	-	$E_t = 0.257 \cdot 10^{-5} \cdot 10.5$	0.856	$7.025 \cdot t$ 0.01; 23+2 -21 -2.10
					$E_t = 0.5 \cdot 10^{-5} \cdot 0.554$	0.958	$14.131 \cdot t$ 0.01; 23+2 -21 -2.10
POHSE-FENG (1992)	Kumtaşı	11	-	-	$E_t = 0.157 \cdot 10^{-5} \cdot 20.6$	0.291	-
					$E_t = 2.25 \cdot 10^{-5} \cdot 0.547$	0.507	$1.745 \cdot t$ 0.2; 11+2 -10 -1.36
GÖZEL	Çizelgedeki tüm tortul kayalar	274	-	-	$E_t = 0.22 \cdot 10^{-5} \cdot 7.3$	0.685	$15.021 \cdot t$ 0.01; 273+2 -276 -2.62
					$E_t = 1.03 \cdot 10^{-5} \cdot 0.77$	0.812	$23.111 \cdot t$ 0.01; 273+2 -276 -2.62

E_t - Elastisite (ceçet) Modülü, MP_a ($10^3 MP_a$ 1 MP_a)

σ_b - Tek eksenli basınç dayanımı, MP_a

r - Korrelasyon katsayısı

t - 0.95 için hesaplanan "student sayısı"

Regresyon analizinde iki farklı matematik form denenmiştir:

$$E_t = A\sigma_b + B \quad (1)$$

$$E_t = A\sigma_b^n \quad (2)$$

Burada:

E_t = Elastisite (teğet) modülü

σ_b = Tek eksenli basınç dayanımı

A,B,n = Regresyon katsayıları

r = Korelasyon katsayısı

A ve n büyüklükleri kayacın büyük ölçüde petrografik yapısı " CaCO_3 " ve " SiO_2 " yüzdeleri, ortalama dane çapı, çimento türü v.b ile yakından ilintilidir.

Çizelgeden görüleceği üzere, gerekli "üstel" bağıntı (2 no) lineer bağıntıya (1 eşitlik) kıyasla deneysel verileri daha yüksek korelasyon katsayıları ile ifade etmektedir. Ayrıca, üs değerlerinin $n=0.7-0.95$ gibi oldukça dar sayılabilecek aralık arasında değiştiği farkedilmektedir.

Wilson'a ait datalar İngiltere'deki kömür havzalarındaki formasyonları yansıtmaktadırlar. 146 adet datanın kullanıldığı analizde en iyi korelasyon katsayısı "üstel bağıntı" da elde edilmiştir.

$$E_t = 1.06\sigma_b^{0.729} \quad (3)$$

Burada: E_t (GP_a) ve σ_b (MP_a) birimleri ile alınacaktır.

Dhir-Sangha'nın deneysel datalarının kullanıldığı analizde bulunan "A" ve "n" büyüklüklerinin (Çizelge-1) (3) eşitliğindeki katsayılarla mertbe yakınsaklığı içindeki uyumu keza dikkat çekicidir.

3. TUM KAYNAKLARIN DIKKATE ALINDIĞI REGRESYON ANALİZİNİN SONUÇLARI VE TAHKİKİ

N=278 adet deneysel datanın kullanıldığı analizde denenen bağıntıların formları anlamlılık testleri ile birlikte Çizelge-2'de özetlenmiştir.

Çizelge-2 yakından incelendiğinde ulaşılan sonuçlar şöyle sıralabilir:

- "Üstel" ifadeye ait korelasyon katsayısı diğer ifadelere ait korelasyon katsayılarından daha yüksektir. Daha değişik bir anlamıyla, üstel ifade ile belirlenen $E_t = f(\sigma_b)^n$ bağıntısı " E_t " ile " σ_b " arasındaki ilintiyi en iyi biçimde açıklamaktadır. Bu husus, "anlamlılık" testinde açıkça görülmektedir.

- (Hava kurusu y. Junluk x basınç dayanımı) şeklinde belirlenen değişkenin elastisite modülü ile olan korelasyonu, daha yüksek bir korelasyon katsayısı ile sonuçlanmıştır. (Bu analizde n=74 adet data kullanılmıştır. Hesaplanan korelasyon katsayısı $r=0.835$ 'dir).

Şekil-1'de n=278 adet veri için çıkartılan en anlamlı regresyon bağıntısı (Eşitlik-2) görülmektedir. Karşılaştırma amacıyla yönelik olarak aynı şekil üzerinde Wilson tarafından teklif edilen

$$E_t = 0.31\sigma_b \quad (4)$$

bağıntısı çizilmiştir. Farkedileceği üzere, Wilson ifadesi, 500-1000 $[kg/cm^2]$ basınç dayanımları için, bu makalenin yazarları tarafından çıkartılan üstel ifade ile üst üste düşmektedir. Açıktır ki, Wilson bağıntısı 1000 kg/cm^2 'den büyük basınç dayanımlarında önemli sayılabilecek "farklılık"lar sergilemektedir. Ayrıca, 500 kg/cm^2 'de daha küçük basınç dayanımlarında ise üstel ifadenin (Eşitlik-2) kömür havzası kayalarına daha iyi uyum sağladıkları gözlenmektedir.

Çizelge-2 Tortul Kayaçlar İçin Denenen Çeşitli Regresyon Bağlantıları ve Anlamlılık Testleri

Regresyon Modeli	Korelasyon Katsayısı "r"	Numune Sayısı "n"	Anlamlılık Testi $t = r \cdot \sqrt{\frac{n-2}{1-r^2}}$
$E_t = 0.22\sigma_b + 7.3$	0.685	278	15.197 > t 0.01; 278-2 = 276 = 2.60
$E_t = 3.9 \sqrt{\sigma_b} - 8.14$	0.710	278	16.750 > t 0.01; 278-2 = 276 = 2.60
$E_t = 1.03\sigma_b^{0.73}$	0.812	278	23.112 > t 0.01; 278-2 = 276 = 2.60
$E_t = 0.64\gamma^{4.21}$	0.800	74	11.313 > t 0.01; 74-2 = 72 = 2.65
$E_t = 0.59(\gamma \cdot \sigma_b)^{0.72}$	0.835	74	12.876 > t 0.01; 74-2 = 72 = 2.65

İşaretler:

E_t = Teğet Modülü [GPa]

σ_b = Tek eksenli basınç dayanımı [MPa]

γ = Hava Kurusu yoğunluk, [gr/cm³, t/m³]

GPa = 10³ MPa

t = % 95 için hesaplanan "student sayısı"

Analize sokulmayan " E_t " ve " σ_b " dataları ile (2) bağıntısının (Şekil-1) nümerik karşılaştırılması Şekil-2.a'da 1:1 doğrusu çizilerek yapılmıştır. Şekil-2.b ise sözkonusu karşılaştırılmanın sonuçlarını çizelge düzeninde özetlemektedir. Görüleceği üzere analizde yer almayan datalarda hesaplanan (+) ortalama sapma miktarı % 19, (-) ortalama sapma ise % 17 mertebelerindedir. Dikkat edilirse, bu mertebelerdeki "sapmalar" pratik mühendislik amaçlarına çok uygun değerlerdir.

Bütün dataların ($n=278$ adet) kullanıldığı tahkikde deneysel verilerin 1:1 doğrusundan sapmaları en fazla $\pm$ % 50 düzeyindedir (Şekil-2.a).

4. SONUÇLAR

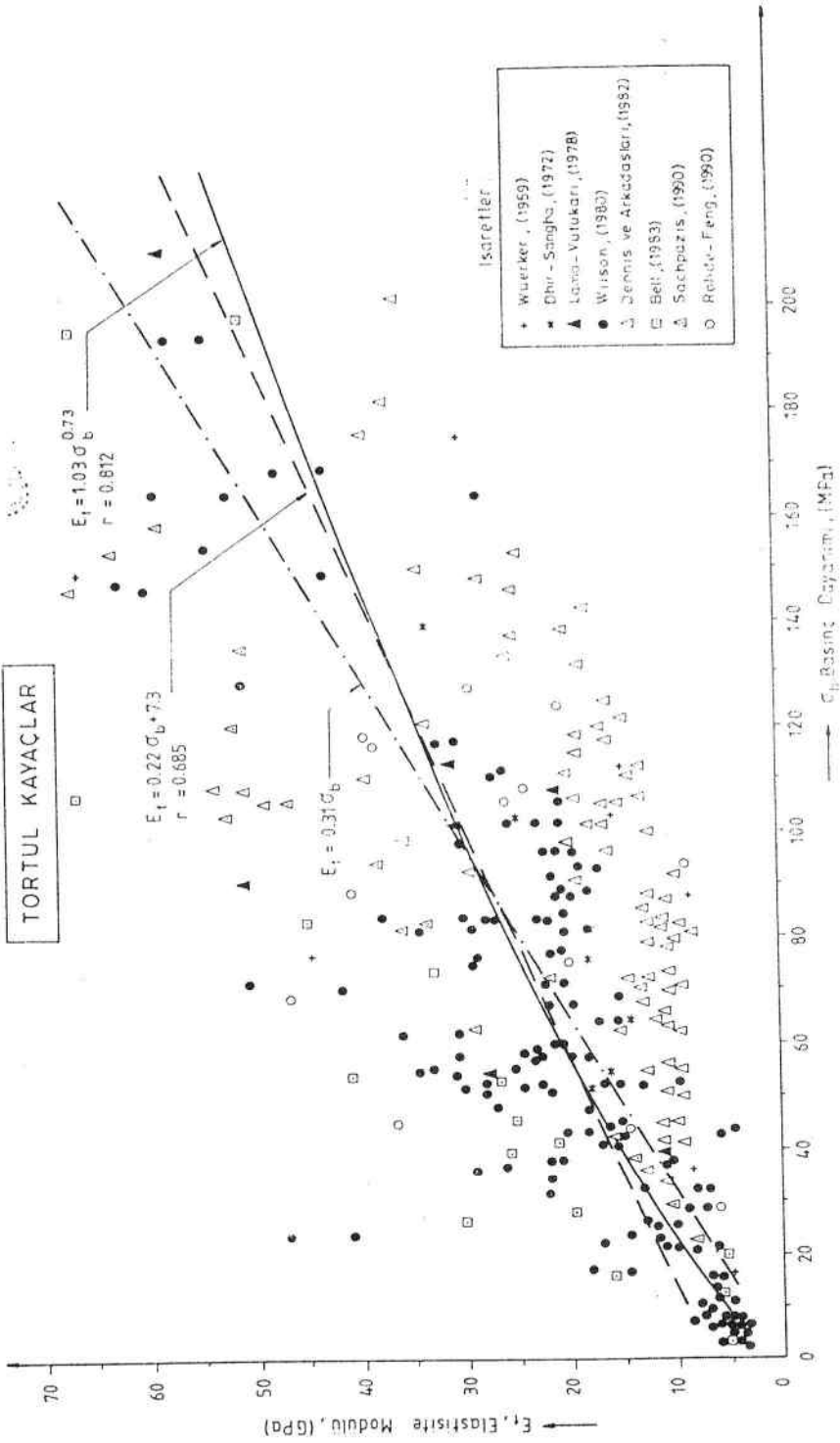
Bu çalışma çerçevesinde incelenen konulardan çıkartılan belli-başlı sonuçlar şöyle özetlenebilir:

- Kayaçların jeomekanik büyüklükleri olan elastisite modülü " E " ile basınç dayanımı " σ_b " arasında "çok anlamlı" korelasyonlar sözkonusudur (Çizelge-1). Regresyon bağıntısı,

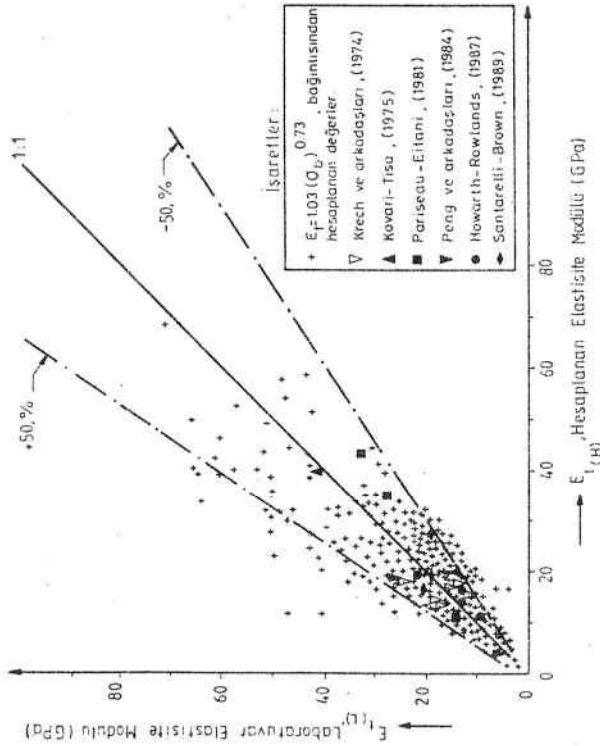
$$E_t = A \cdot \sigma_b^n$$

türünde üstel bir ifadedir. (Çizelge-1, Şekil-1, Çizelge-2). $N=278$ data için sözkonusu regresyon ifadesinin sonuçları laboratuvar değerlerinden maksimum $\pm$ % 50 düzeyinde farketmektedir (Şekil-2.a).

- Kömür havzası kayaçları için çıkartılan Wilson bağıntısı ($500-1000$) kg/cm^2 basınç dayanımı aralığında (2) eşitliğiyle çok iyi uyum içindedir (Şekil-1). 1000 kg/cm^2 'den daha büyük basınç dayanımları için Wilson i. des. farklı sonuçlar vermektedir. Ayrıca; 500 kg/cm^2 'den daha küçük dayanım düzeylerinde teklif edilen üstel regresyon bağıntısı (eşitlik-2) kömür havzası kayaçlarına ait elastik modüllere daha iyi uyum göstermektedir.



Şekil.1 Tortul Kayaçlara İlişkin "Elastisite Modülü" (Teğet) (E_1) - "Tek Eksenli Basınç Dayanım" (σ_B),
Büyüküklerinin Regresyon Analizi.



a)

Kaynak	Kayaç Türü	Elastisite Modülü, "E ₁ " (★)		Sapma Miktarı (★★)	
		Laboratuvar "E _{1,L} "	Hesaplanan "E _{1,H} "	+Δ	-Δ
KRECH ve arkadaşları	• Kumtaşı	14.30	16.45	—	160
	• Kumtaşı	15.70	17.00	—	82
	• Kumtaşı	14.00	17.00	—	210
	• Kireçtaşı	19.40	15.55	19.8	—
	• Kireçtaşı	17.00	14.85	12.6	—
KOVARI TİSA	• Kumtaşı	15.14	19.9	—	23
	• Kireçtaşı	42.40	39.50	6.84	—
PARISEAU EITANI	• Kumtaşı	26.70	34.49	—	29.00
	• Seyl	34.50	44.00	—	27.5
PENG ve arkadaşları	• Kumtaşı	26.20	18.48	29.5	—
	• Seyl	5.15	4.33	16.0	—
HOWARTH — ROWLAND	• Kumtaşı	20.50	21.60	—	5.3
	• Kumtaşı	12.50	16.34	—	30.0
	• Kumtaşı	14.00	14.16	—	1.1
	• Kumtaşı	11.60	13.80	—	19.0
SANTARELLI BROWN	• Kumtaşı	20.73	18.27	11.8	—
	• Kumtaşı	19.08	19.17	—	0.47
	• Dolomit	23.49	29.00	—	230
Ortalama ± Δ, Sapma Miktarı				±%19	±%17

(★) E₁ : Elastisite Teğet Modülü, (GPa).(★★) Sapma Miktarı, $\Delta = \frac{E_{1,L} - E_{1,H}}{E_{1,L}} \times 100, \%$

b)

Sekil. 2 a) $E_L = 1.03(\sigma_b)^{0.73}$ regresyon ifadesinden hesaplanan değerlerin laboratuvar değerleri ile karşılaştırılması ve b) regresyon analizinde kullanılan "Elastisite Modülü" ve "Tek Eksenli Basınç Dayanımları", ya tahkiki,

• Basıncı dayanım değerlerinden regresyon ifadeleri yardımıyla elastik modül büyüklüğünün kestiriminde "basıncı dayanımı" ile birlikte numunenin "hava-kurusu yoğunluğu" da dikkate alınmalıdır. [Yoğunluk x basıncı dayanım] şeklinde tanımlanan "değişken" ile oluşturulan regresyonun korelasyon katsayısı diğer regresyon bağıntılarına ait korelasyon katsayılarından daha yüksek elde edilmiştir. (Çizelge-2).

KAYNAKLAR

- BELL, F.G.: "Engineering Properties of Soil and Rocks", London, Butterworth, (1983)
- BİRÖN, C., ARIÖĞLU, E.: "Madenlerde Tahkimat İşleri ve Tasarımı", Binsen Kitabevi, İstanbul, 1981.
- DENNIS, R.D., HORING, F.G., HOOKER, E.V.: "Mechanical Properties of Oil Shale and Overlying Strata, Naval Oil Shale Reserve, Anvil Points, Colo. ISBM RI: 8608, (1982), pp: 1-43
- DHIR, R.K., SANGHA, C.M.: "Rock Strength", Colliery Guardian, May, (1972), pp: 525-256
- KOVARI, K., TISA, A.: "Multiple Failure State and Strain Controlled Triaxial Tests", Rock Mech. and Rock Eng. Vol: 7/1, (1975), pp: 25-33
- KRECH, W.W., HENDERSON, F., HEJELMSTAD, K.E.: "A Standard Rock Suite for Rapid Excavation Research", USBM RI: 7865, (1974), pp: 1-29.
- LAMA, R.D., VUTUKARI: "Handbook and Mechanical Properties of Rock" Trans. Tech. Publ., Amsterdamsdorf, Switzerland, Vol: 2, 1978, pp:481
- PARISEALI, B. EITANI, A.: "Comparisons Between Finite Element Calculations and Field Measurements", Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Vol:4 (1981).
- PENG, S.S. et al. : "Performance of a Pickax", Rock Mech, and Rock Eng., Vol: 6, (1984)
- ROHDE, J., FENG, H.: "Analysis of the Variability of Unconfined Compression Tests of Rock", Rock Mech. and Rock Eng., 23, (1990), pp: 231-236
- SACHPAZIS, C.I.: "Correlating Schmith Hardness With Compressive Strength And Young's Modülüs of Carbonate Rocks", Bull. of Int. Ass. of Engineering Geology, No: 42, Paris (1990), pp: 75-83

SANTARELLI, F.J., BROWN, E. T.: "Failure of Three Sedimentary Rocks in Triaxial and Hollow Cylinder Compression Tests", Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr. Vol. 26, No: 5, (1989), pp: 401-413

WILSON, A.H.: "Stability of Underground Working in the Soft Rocks of Coal Measures", Ph.D. Thesis, University of Nottingham, (1980)

WUERKER, R.G.: "The Shear Strength of Rocks", Mining Engineering, October (1959), pp: 1022-1026

KAYA MEKANIĞI PROBLEMLERİNİN ÇÖZÜMÜNDE
MODELLEME VE BENZETİM İLKELERİ

Mahir VARDAR *

Yılmaz MAHMUTOĞLU **

I- GİRİŞ:

Büyük ve riskli mühendislik yapılarının küçük ölçekli modelleri üzerindeki çalışma ve araştırmaların; en uygun çözümlerin bulunmasında önemli katkıları bulunmaktadır. Bu yolla; sistemin dizaynını yönlendiren daha güvenilir bilgiler elde edilebilmekte, teknik seçenekler irdelenebilmekte ve nihayet olası mühendislik hatalarının önceden tanınması ve giderilmesi sağlanabilmektedir.

Modellerin yinelenebilir olması; koşulların ve sistemin değiştirilmesi ile parametre araştırmalarının istenilen düzeyde ayrıntılandırılmasına olanak tanımaktadır. Ancak, yine de belirli varsayım ve ideal koşullardan hareket edildiği için, model çalışmalarının her türlü soruna yanıt getirmesi de beklenmemelidir.

Bu tür çalışmalarda modellenecek olayın esas teorisi anlaşılmalı, uygun bir modelleme sisteminin oluşturulması ve elde edilen sonuçların doğru yorumlanması modelleme verimini ortaya koyacaktır. Aksi halde sistemi yeterince temsil etmeyen bir modelin denenmesi boşuna zaman ve para harcanmasına neden olur. Bu ise günümüz bilgi, görgü ve araştırma kurallarına ters düşer. Bazen bir olayın genel özellikleri bilinmesine rağmen, gerekli bilgiyi sağlayacak modeli oluşturmak oldukça güçtür. Ayrıca teoriyle hesaplanabilecek sonuçları model deneyler aracılığı ile bulmaya çalışmak israfa neden olur.

Model çalışmalarının optimum ekonomik ve uygulanabilirlik sınırları günümüzde tam olarak belirlendiğinden bu çalışmaların mühendislikte giderek artan nispette kullanıldığı görülmektedir.

* Prof.Dr., İTÖ Maden Fakültesi

** Arş.Gör., İTÖ Maden Fakültesi

Model deneyler çok çeşitli uygulam alanına sahiptir. Kaya ortamların fiziko mekanik davranışlarına yaklaşım sağlamak amacıyla bu tip çalışmalar dünyada hızla gelişmektedir.

II. 1- Modellerin Özellikleri

Eğer modelle prototip'in birbirine karşı gelen kısımları aynı şekle sahipseler, bu iki sistem geometrik olarak benzerdirler (Geometrical similarity). Geometrik benzerlik genellikle tüm model çalışmalarda esas alınır. Bununla beraber ortamlarla ilgili çalışmalarda pratik açıdan uygun ölçeklerin kullanılması gerekir. Bazı özel durumlarda, ise üç boyutlu modellemelerde, esas alınan ölçeklendirmelerde yatay ve düşey ölçekler farklı alınabilmektedir. Örneğin bir nehrin taşıdığı sediman miktarının hesabı için oluşturulacak modellemede nehrin genişliği için seçilen ölçek oranı nehrin derinliği için seçilen -den küçük alınabilmektedir. Bu tip modellere deforme modeller denir. Bu durumda geometrik benzerlik koşulu da yönlerle bağlı olarak bozulmaktadır. Fakat bu tip modellemelerde yatay ölçeğin her yönde aynı olmasına dikkat edilir.

Genel olarak model ve prototipteki aynı noktalar birbirine benzerdirler ve modeldeki her nokta prototipte bir diğer noktaya karşılık gelir. Eğer zaman modellemede dikkate alınmak zorundaysa onunda benzer bir ölçeklendirmeyle temsil edilmesi gerekir.

Benzerlik olayı geometrik koşulun yanında bir çok karakteri de içerir. Örneğin bir modeldeki yoğunluk dağılımı prototiptekine benzer olmalıdır. Bunun anlamı yoğunluk arasındaki oran (ρ) nın homojen kesimler için sabit olmasıdır.

II. 2- Tam Benzerlik

Model çalışması prototip karakteristiklerinin uygun sayısal göstergelerini sağlar. Genellikle sayısal bilgi arama yoludur.

Modeller kullanım için amaçlanmış sayısal data tiplerine bağılı olarak sınıflandırılabilir. Çoğu durumlarda bir model çalışmasının esasını tek bir sayısal değerin araştırılması oluşturur. Örneğin bir yapı temeli ilgili deformasyon deneyi modellemesi yapının dayanaacağı maksimum yükü bulmaktır.

Model deneyde elde edilen sonuç, problemde yer alan bağımsız değişkenlere bağılıdır. Bu ise aşağıdaki boyut analizi eşitliği ile verilir.

$$\pi = f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_p) \quad (1)$$

Buradaki π 'ler boyutsuz ürünlerin tam takımlarıdır.

$\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_p$ gibi belirlenmiş sayısal değerlere karşılık gelen özel π değerini bilmek istersek, prototip ve model için aynı olan $\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_p$ bağımsız boyutsuz değişkenleri sağlamamız gerekir. Bu koşul altında model ve prototip tam benzerdir, denir. Boyutsuz ürünlerin bir tam takımı verilen değişkenlerin tüm boyutsuz ürünlerini belirlediği için, tam benzerlik sağlandığı zaman, her boyutsuz ürün prototip ve model için aynı değere sahiptir. Böylelikle geometrik koşul sağlanmadıkça tam benzerliğin sağlanamayacağı açıktır.

Genellikle bir model deneyindeki tam benzerliğin güç olması fizibil olmayan durumlardır. Sonuçta olayı ikincil veya bilinen oranlarda etkilediğine inanılan bağımsız boyutsuz değişkenlerin bazılarının gerçek değerlerinden belirli oranlarda sapmasına müsaade edilebilir. Model mühendisinin en önemli görevlerinden biri tam benzerlikten sapmaları belirlemek veya sapmaları telafi için gerekli teorik düzeltmeleri uygulamaktır. Boyutsuz ürünlerin ihmalinden kaynaklanan hataları gidermek için bir tedbir alınmalıdır. Prototip davranışını etkilemeyen bazı büyüklükler modelin davranışını önemli oranda etkileyebilir.

Örneğin Okyanus dalgaları yüzey gerilmesinden etkilenecekken liman modelindeki dalgaların boylarınının 1'inin' ten küçük olması durumunda yüzey gerilmesi dikkate alınmalıdır. Bu tür etkiler ölçek etkileri (scale effects) olarak isimlendirilir. Aynı zamanda yüzey pürüzlülüğü bazen bir ölçek etkisi oluşturur. Çünkü prototip için düz sayılabilecek yüzey modelde kısmen pürüzlü olmaktadır. Ölçek etkisi genellikle tüm modellerde ortaya çıkar. Bu tür ölçek etkilerine karşı en iyi önlem fizibile olmak koşuluyla mümkün olduğunca büyük ölçekli modeller oluşturmaktır.

II. 3-Benzerliğin Genel Kuralları ve Uygulayımı

Prototip ve modeli iki ayrı benzer sistem olarak ele alalım. Sırasıyla prototip ve modeldeki noktaların yerlerini belirlemek için (x,y,z) ve (x',y',z') iki homojen dik kartezyen koordinat sistemi seçelim. Bu iki sistem arasındaki ilişki benzer nokta ve zamanlar açısından aşağıdaki eşitliklerle tanımlanır.

$$x' = K_X X, \quad y' = K_Y Y, \quad z' = K_Z Z, \quad t' = K_t t \quad (2)$$

Buradaki sabitler (K_X, K_Y, K_Z) 'e X, Y, Z yönündeki uzunluklar için ölçek faktörleri (scale factors) denir. Geometrik benzerlik durumunda $K_X = K_Y = K_Z = K_t$ olur. Deforme modeller için iki boyutta ölçek faktörleri genellikle eşit seçilir ($K_X = K_Y \neq K_Z$). Daha sonra K_Z/K_X oranı geometrik arıza faktörü (distortion factor) olarak hesaba alınır.

K_t sabiti zaman ölçek faktörüdür. Periyodik problemlerde zaman ölçeği olarak iki sistemin (prototip ve model) periyodları arasındaki oran olarak boyutlandırılır.

Bazen (x,y,z) ve (x',y',z') uzaylarındaki izotropiyi dikkate almak faydalı olmaktadır. Eğer sistemler geometrik olarak benzer iseler izotropik yönler aynıdır.

Benzerliğin genel ifadesi iki esas skaler fonksiyon $f(x,y,z,t)$ ve $f'(x',y',z',t')$ ile temsil edilebilir ve aşağıdaki gibi belirlenir.

Fonksiyonlar benzer noktalar ve benzer zamanlar için tasarlandıklarında ki bu da f'/f oranıyla sağlanır. f ve f' fonksiyonları benzerdir. $f'/f = kf$ oranı f fonksiyonunun ölçek faktörü olarak belirtilir. Örnek olarak f ve f' prototip ve modelinin benzer noktalarındaki gerçek sıcaklıklar olsun. f'/f sabitse iki sistem ısısal açıdan benzerdirler. Aynı şekilde eğer bu noktalardaki sıcaklık zamanla değişiyorsa zaman ölçek faktörünün de benzer olarak formülasyonu gerekir.

II.4- Kinematik Benzerlik

Kinematik, yer-zaman ilişkilerinin teorisidir. Sonuçta kinematik benzerlik hareketlerin benzerliği ile ilgilidir. Kinematik benzerliği tariflemek için iki sistemin birbirine karşılık gelen malzeme parçacıkları arasındaki ilişki dikkate alınmak zorundadır.

Eğer benzer zamanlarda benzer noktalar benzer yerlerde bulunuyorsa iki sistem (prototip ve model)'in hareketi benzerdir.

Kinematik benzerliğin sağlanabilmesi için hız veya ivme benzerliğinin de sağlanması gerekmektedir. Bu büyüklükler için ölçek faktörleri türetilebilir. Modelde zamana bağlı olarak bir noktanın yerdeğiştirmesiyle ilgili hız vektörü ;

$$u' = \frac{\delta x'}{\delta t'}, v' = \frac{\delta y'}{\delta t'}, w' = \frac{\delta z'}{\delta t'} \quad (3)$$

Bu eşitlikleri bilinenlere göre açarsak ;

$$u' = \left(\frac{K_x}{K_t}\right)u, \quad v' = \left(\frac{K_y}{K_t}\right)v, \quad w' = \left(\frac{K_z}{K_t}\right)w \quad (4)$$

Böylece u, v, w için ölçek faktörleri, sırasıyla

$$\frac{K_x}{K_t}, \frac{K_y}{K_t}, \frac{K_z}{K_t} \quad (5)$$

olacaktır.

İvme ölçek faktörü (K_a) ise aşağıdaki gibi türetilir.

$$\frac{K_x}{K_t^2}, \frac{K_y}{K_t^2}, \frac{K_z}{K_t^2} \quad (6)$$

Geometrik benzerlik söz konusu ise, yani $k_x = k_y = k_z = k_L$ ise;

$$\left. \begin{aligned} \text{Hız vektörü } K_v &= \frac{K_L}{K_t} \\ \text{İvme vektörü; } K_a &= \frac{K_v^2}{K_L} \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

dir.

II. 5- Dinamik Benzerlik

Eğer iki benzer sistemin birbirine karşı gelen noktaları benzer kuvvet ağına sahipse bu sistemler dinamik olarak benzerdirler.

Kütle dağılımları benzer olan iki sistem düşünelim $m' = K_m m$, m ve m' benzer kısımların ağırlıklarıdır ve $K_m = m'/m$ olup sabittir.

Newton kanununa bağlı olarak modelin belirli noktasına etkiyecek kütleden doğan toplam kuvvet ;

$$F_{x'} = m' a'_{x'}, \quad F_{y'} = m' a'_{y'}, \quad F_{z'} = m' a'_{z'} \quad (8)$$

olacaktır.

Kinematik benzerliğin sağlanmış olması durumunda ;

$$\frac{F_{x'}}{F_x} = \frac{K_m K_x}{K_t^2}, \quad \frac{F_{y'}}{F_y} = \frac{K_m K_y}{K_t^2}, \quad \frac{F_{z'}}{F_z} = \frac{K_m K_z}{K_t^2} \quad (9)$$

Bunlar benzer noktalarındaki toplam kuvvet bileşkele-
ridir. Böylece kinematik benzerliğin sağlanması durumun-
da dinamik benzerlikte sağlanmış olmaktadır. Yalnız küt-
le dağılımının benzetilmesi koşulu dikkate alınmalıdır.
Geometrik benzerliğin sağlanmış olması durumunda yukarı-
daki eşitlik tek bir eşitliğe indirgenebilir.

$$K_f = \frac{K_m K_L}{K_t^2} \quad (10)$$

III.1-Kaya Mekaniği Problemlerinin Model Benzetimi

Daha önceden ifade edildiği gibi benzetim ve model-
ler teorisi fiziksel ilişkilerin homojenliği üzerine da-
yandırılır.

Riabucinski-Buckingham teoremine göre fiziksel bir
olayın içerdiği tüm büyüklükler analitik olarak aşağıda-
ki şekilde ifade edilebilir (Fumagalli, 1968).

$$Y = x_1^{\alpha_1}, x_2^{\alpha_2}, \dots, x_q^{\alpha_q} f(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_n, x_1, x_2) \quad (11)$$

Yukarıdaki eşitlikte x_n fiziksel olayı etkileyen te-
mel bağımsız değişkenleri, α_n bağımsız büyüklüklere kar-
şı gelen y 'nin boyutları, π_n türetilmiş büyüklüklerin bo-
yutsuz oranları ve X_n sistem geometrisini tanımlayan şekil
faktörleridir.

f fonksiyonunun değeri prototip ve model gibi ben-
zer iki sistem için aynıdır. Böylece aşağıdaki eşitliğe
uygun şekilde prototipteki her y büyüklüğüne karşı mo-
delde bir y' büyüklüğü karşılık gelir.

$$Y = Y' \left(\frac{X_1}{X_1'}\right)^{\alpha_1} \left(\frac{X_2}{X_2'}\right)^{\alpha_2} \dots \left(\frac{X_n}{X_n'}\right)^{\alpha_n} \dots \left(\frac{X_q}{X_q'}\right)^{\alpha_q} \quad (12)$$

Burada X_n/X_n' gibi herhangi bir oran bağımsız büyüklük X_n' 'in model benzetişim ölçeğidir.

Statik problemlerde türetilmiş büyüklüğe karşı gelecek iki bağımsız değişken seçilebilir.

Basitlik açısından modellenen sistem ve modelin geometrisi arasındaki oran $\lambda = L/L'$ ve yüzeylerine etki - yen gerilmeler arasındaki oran $m = \sigma/\sigma'$ temel değişkenler olarak seçilebilir. Geometrik ölçek (λ) aynı zamanda yer değiştirmelere göre de tayin edilebilir. Gerilme ölçeği (m) ise tüm spesifik kuvvet ölçütleri dikkate alınarak tarifienebilmektedir.

$$m = \frac{\sigma}{\sigma'} = \frac{E}{E'} = \frac{\sigma_{YP}}{\sigma'_{YP}} = \frac{\sigma_{uc}}{\sigma'_{uc}} \quad \text{vb.} \quad (13)$$

Malzemenin birim hacim ağırlığı (γ) :

$$\gamma = \sigma L^{-1} \quad (14)$$

ve benzetim ölçeği ;

$$\rho = \frac{\gamma}{\gamma'} = \frac{\sigma L^{-1}}{\sigma' L'^{-1}} = \frac{m}{\lambda} = m \lambda^{-1} \quad (15)$$

dır.

Konsantre kuvvetler için boyutlandırmalar ;

$$P = \sigma L^2 \quad (16)$$

benzetim ölçeği ise ;

$$\psi = \frac{P}{P'} = \frac{\sigma L^2}{\sigma' L'^2} = m \lambda^2 \quad (17)$$

Genellikle statik problemlerde etkilenen büyüklükler arasındaki temel ilişkiler;

$$m = \lambda P \quad (18)$$

$$\psi = \rho \lambda^3 \quad (19)$$

Birim deformasyon $\epsilon = \Delta L/L$ boyutsuz olduğu için

$$\epsilon = \epsilon' \quad (20)$$

Bunun anlamı prototipten modele geçerken karşılıklı noktalardaki birim deformasyonların aynı olduğudur.

$$\sigma = m \sigma' \quad (21)$$

$$\epsilon = \epsilon'$$

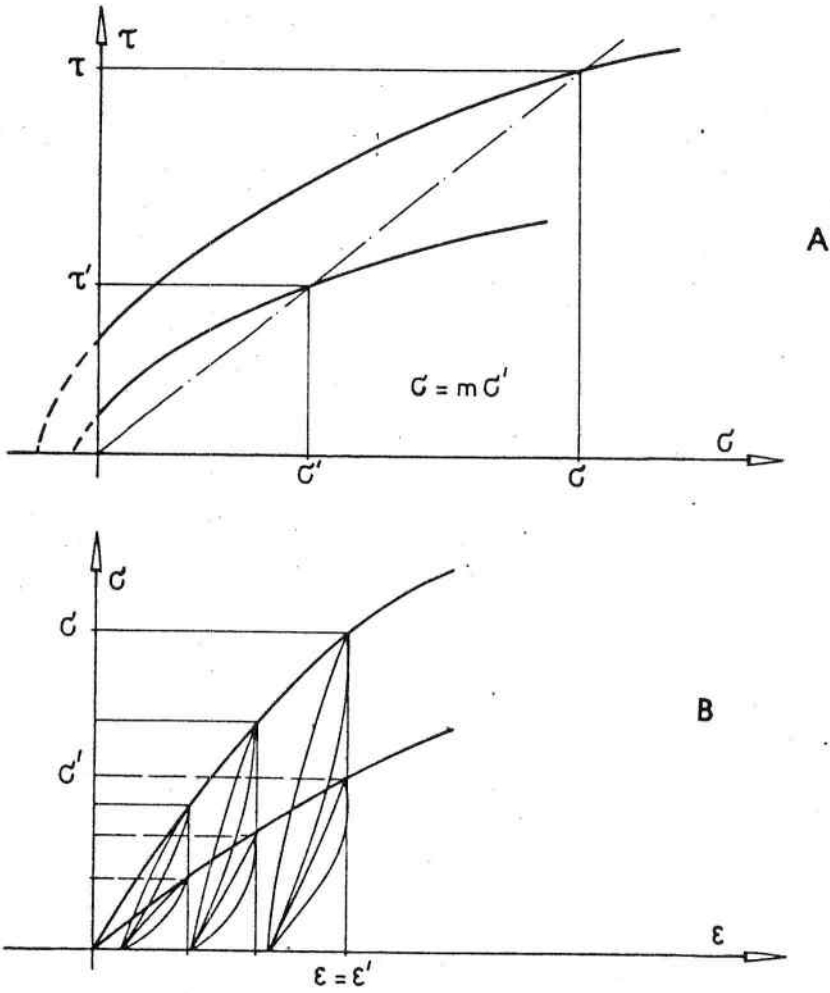
Bu ilişkiler Şekil - 1 deki diyagramda gösterilmiştir. Bu diyagramlar krip, gevşeme gibi zamana bağlı olaylar dahil tüm elastik olmayan deformasyon davranışları için geçerlidir.

Elastik deformasyonlar zamandan etkilenmediğinden olay dinamik olarak gelişir ve bu tür problemin boyutunu tanımlayan üç bağımsız değişken vardır. Bununla beraber gravitasyon daimi ve değişmez bir kuvvet olacaktır. Yani bağımsız büyüklüğün ölçeği her durumda aşağıdaki ifadeyle hesaplanmalıdır;

$$G = \frac{g}{g'} = \frac{LT^{-2}}{L'T'^2} = \lambda t^{-2} = 1 \quad (22)$$

Prototip ve model arasındaki zaman ölçeği böylece :

$$t = \lambda^{1/2} \text{ 'dir.} \quad (23)$$



Şekil - 1. Prototip ve modelin Mohr zarfı (A)
Prototip ve modele ait gerilme deformasyon grafiği (B)

III.2- Elastik Modelleme

Lineer elastik bir ortamın modellenmesi mevcut teorik prensiplerden dolayı nispeten daha basittir.

Model çalışması elastik teori çerçevesinde yapı değişimleri ve tüm karmaşık yapısal deformasyon durumlarını

dikkate alan bir tür nümerik analizdir.

Malzemenin mekanik özellikleri için benzetim koşulu malzemenin Young Modülü ve $m = E/E'$ oranıyla sap - tanır. Deformasyon ölçümlerini kolaylaştırmak için model genellikle prototip'ten daha fazla yüklenerak gerilmeye tabi tutulur.

Malzemenin deformasyon eğrileri çok geniş elastik sınırlar içerisinde doğrusal olmalıdır.

Model malzemesinin Young Modülü oda nemi ve sıcaklığındaki normal değişimlere karşı hassas olmamalıdır. Deneyde yükleme hızı (deney süresi) vizkoz davranışa mani olmak için önceden hesaplanmalıdır. Bu tip deneyler için en uygun malzemeler sentetik reçinelerin değişik çeşitleri ve selülozdur. Bu malzemelerin kullanımında ortaya çıkan en önemli sorun poisson oranları (0.40-0.50) nin kaya ve betonun (0.15-0.30) kinden farklı olmasıdır. Buna rağmen bu problem yalnız üç boyutlu modellemeler için önemli olmaktadır. İki boyutlu modellerde bunun çok daha az önemi vardır.

Bir diğer seçenek malzeme alçı ile oluşturulan modelin üzerinin kaplanması durumunda deformasyon ölçerlerin hassas olarak kullanımı mümkün olmaktadır.

Yapı (inşaat) alanında geniş kullanım alanı bulan elastik modellemeler, elastik olmayan davranışların çok daha fazla önem kazandığı Kaya Mekaniğinde çok özel çalışmalarda kullanılmaktadır.

III.3- Elasto-Plasto-Vizkoz Davranış Modellemesi

Kaya kütlelerinin denge ve stabilitesinin güveni - lirliği fikri kaya ortamlarda inşa edilen dev mühendislik yapılarının yapılmasıyla ortaya çıkmıştır.

Bir geomekanik model çalışması yalnız bir barajın sınır koşullarını ortaya koymak için kayanın deforme olabilme özelliğinin araştırılması değildir. Aynı zamanda yapılacak barajın ortam koşullarıyla uygunluğunu ve birlikte çalışabilirliğini araştırmaktır. Çünkü benzer bir kontrol geleneksel model deneyler veya analitik yolla da yapılabilir.

Modellemede başlangıç noktası kaya kütlelerinin jeolojik ve geomekanik özelliklerinin yer aldığı bir rapordur.

Bu rapor esas alınarak tasarımcı veya jeologun kendisi analiz edilecek kaya kütlelerinin özelliklerini belirler.

Gövde kuvvetlerinin (body forces) sümülasyonunda ρ oranının kolay tespit edilebilir olmasına rağmen, pratik açıdan bir çok zorluklar ortaya çıkmaktadır. Zira malzemenin yoğunluğu istenilen oranda arttırılamaz.

IV- BENZETİM KURALLARININ UYGULAYIMI

İdeal modelleme kurallarıyla ilgili esaslar bu konuyla uğraşan bir çok bilim adamı tarafından tariflenmiştir. Aşağıda uygun bir fiziksel benzetim için gerekli sınır koşulları sıralanmıştır.

1. Boyutsuz oran ve sayıların prototip ve modele tam olarak uygulayımı
2. Modelin performansını kritik olarak etkileyen ilgili değişkenleri modelde temsil ederek, önemsizleri elimine etmek
3. Prototiple korele edilebilecek üzere uygun bir modelin oluşturulması

4. Deforme modeller, tüm benzetim şartlarının temsili - nin imkansız olduğu hallerde, tercih edilen tasarım değişiklikleri dikkate alınmak koşuluyla sık sık kullanılır.

Modeldeki yetersizlikler ;

- a) Geometrik,
- b) Yükleme,
- c) Malzeme

boyutlandırmalarından kaynaklanan yetersizliklerdir.

5. Modelleme ölçeği, geometrisi ve model malzemesinin türü değiştirilerek bu değişkenlerin ortam davranışına etkisi araştırılmalıdır. Prototipi en iyi temsil edecek model malzemesinin seçiminde malzeme davranışı da iyice araştırılmalıdır,

6. Benzerlik hesapları ;

- a) Geometrik,
- b) Knematik,
- c) Termo-dinamik benzerlikleri sağlayacak şekilde olmalıdır.

Özellikle benzer parametrelerin ölçeklendirilmesi sırasında uyumsuzluklar varsa, bir veya bir kaç değişkeni ihmal ederek bir diğer değişkenin ölçek üzerindeki etkisini gözlemek gerekir.

7. Bir çok kompleks mühendislik problemi analog veya matematik benzetimin kullanılmasıyla çözülebilir. Bu durumlarda, fiziksel modellemeye gerek kalmayabilir veya model sonuçlarının uygunluğunu tetkik için yukarıdaki yöntemlerden faydalanılabilir.

8. Geleneksel boyut analizine uymayan enterasan problemlerin varlığına dikkat etmek gerekir. Kömür topuklarının direncinin numune boyutunun karaköküyle ters orantılı olduğu Hock (1965) tarafından ortaya konulmuştur.

Bu durumda gerilme faktörü $(L_p/L_m)^{1/2}$ olacak şekilde düzeltilmelidir. Burada L_p prototipin L_m ise modelin karakteristik boyutlarıdır.

Prototip malzemesinin davranışını temsil edebilecek model malzemesinin seçimi, tasarımı ve modelin yapımı için günümüze kadar bir çok araştırma yapılmıştır. Bir çok durumda denenmiş olan malzemeler, statik problemleri konu alan model çalışmalarında kullanılmaktadır. Kaya mekaniğinde model malzemesinin en önemli özellikleri ; poisson oranı, elastisite modülü, direnci, yoğunluğu ve porozitesidir.

V- KAYNAKLAR

- (1) ALKEN, D.N. de G, (1954), Relaxation Methods, Mc Graw-Hill Book Company Inc, New York.
- (2) ASSZONYI, CS ve DİĞERLERİ, (1979), Determination of Rock Characteristics Using Relaxation Tests, Acta Geodaet., et Mantamist. Acad. Sci. Hung.
- (3) BORDIA, S.K., HAVIR, J., PETROS, V., (1971), A Simple Method of Determining the Coefficient of Loosening of Rocks, Int. J. Rock Mech. Min. Sci.
- (4) CHAPPELL, B.A., (1979), Deformational Response in Discontinues, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, London.
- (5) CLARK, GEORGE, B., (1982), Geotechnical Centrifuges for Model Studies and Physical Property Testing of Rock and Rock Structures, Colorado School of Mines.
- (6) GOODMAN, RICHARD, E., (1976), Methods of Geological Engineering in Discontinuous Rock, West Publishing Company, New York.
- (7) EMMANUEL, DETOURNAY, (1986), Elastoplastic Model of a Deep Tunnel for a Rock with Variable Dilatancy, Rock Mechanics and Rock Engineering.
- (8) FUMAGALLI, E., (1974), The Significance of Model Testing in Problems of Foundations and Slopes, Ismes, Bergamo.
- (9) FUMAGALLI, E., (1968), Model Simulation of Rock Mechanics Problems, Rock Mechanics in Engineering Practice, John Wiley and Sons, London.
- (10) FUMAGALLI, E., (1968), Statical and Geotechnical Models, Springer-Verlag, New York.

- (11) HUDSON, J.A., PRIEST, S.D., (1979), Discontinuities and Rock Mass Geometry, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, London.
- (12) MAHMUTOĞLU, Y., (1989), Kayanın Gevşemeye Bağlı Davranış Değişiminin Arazi ve Laboratuvar Çalışmalarıyla Araştırılması, İTÜ Fen Bilimleri Yüksek Lisans Tezi.
- (13) LANGHAAR, H.L., (1951), Dimensional Analysis and Theory of Models, John Willey and Sons, London.
- (14) PETUKHOW, I.M., LINKOV, A.M., (1979), The Theory of Post-failure Deformations and the Problem of Stability in Rock Mechanics International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, London.
- (15) PRICE, A.M., FARMER, I.W., (1979), Application of Yield Models to Rock, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Oxford.
- (16) ROXBOROUGH, F.F., ESKİKAYA, Ş., (1974), Dimensional Consideration in the Design of a Scale Model for Coal Face Production System Research, Int. J. Rock Mech. Min. Sci., Great Britain.
- (17) STIMPSON, B., (1979), A New Approach to Simulating Rock Joints in Physical Models, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, London.
- (18) VARDAR, M., (1986), Kayaç Anizotropisinin Tünel Boyutlandırmasına Etkisi, DSİ, Tünellerin Projelendirilmesi ve İnşaatı Semineri, Adana.
- (19) YÜZER, E., VARDAR, M., (1986), Kaya Mekaniği, İTÜ Vakfı Yayını.
- (20) ZIENKIEWICZ, S., (1979), Rock Mechanics in Engineering Practice, John Wiley and Sons, London.

BEYPAZARI TRONA SAHASINDAKİ KAYAÇLARIN ZAMANA BAĞLI DAYANIM
PARAMETRELERİNİN ARAŞTIRILMASI

Mahir VARDAR (*)
Haluk BAYRAKTAR (**)

1. Giriş

Bu çalışma Ankara'nın Beypazarı ilçesi 10 km kuzey batısında yer alan trona sahasındaki sodalı kayaçların zamana bağlı davranış karakteristiği ve dayanım parametrelerini belirlemek amacı ile arazi ve laboratuvar çalışmalarından oluşmaktadır.

Genel olarak kayaçların doğada heterojen, anizotrop olması, içerdiği süreksizlikler ve bunların özellikleri, geçirdiği tektonik evreler nedeniyle aynı mineralojik bileşime sahip kayaçların bile fiziksel ve mekanik özellikleri birbirine göre farklılık göstermektedir. Bu nedenle kayaçların gerçek krip davranışının belirlenmesi oldukça güçtür. Yeraltı işletmesi planlanan madenlerde jeoteknik çalışmaların esas amacı yeraltında açılması düşünülen değişik boyuttaki boşlukların dizaynında kullanılan parametreleri saptamak ve kayaçların ne tür davranış göstereceğini önceden tahmin etmektir. Bu amaçla arazi gözlemleri ile toplanan veriler, laboratuvar ve diğer araştırma sonuçları uygulayıcı tarafından kolay anlaşılması için özet tablolar, ampirik formüller ve eğriler halinde verilmelidir.

Beypazarı trona yatağındaki sodalı kayaçların zamana bağlı davranış karakteristiği ve dayanım parametrelerini belirlemek amacı ile deney yöntemi belirlenmiş ve trona numuneleri üzerinde zamana karşı deformasyon ölçümleri yapılarak krip $\epsilon=f(t)$ eğrileri elde edilmiştir.

2. Deneysel Çalışmalar

Tronanın krip davranışını belirlemek amacı ile laboratuvarda yapılan deneylerde numuneler üzerine sabit bir yük uygulanarak bu yük altında zamana bağlı olarak meydana gelen deformasyonlar ölçülmüştür.

Bu çalışmada 160 ton kapasiteli elektronik servo kontrollü yükleme sistemi M.T.S. pres kullanılmıştır (Şekil 1). Sabit deformasyon hızlarında kayaçların tek ve üç eksenli gerilme deformasyon ilişkilerini yenilme öncesi (pre-failure) ve sonrası (post-failure) davranışlarıyla sabit yük altında uzun süreli krip davranışlarını belirlemede kullanılan sistemde mevcut olan gaz

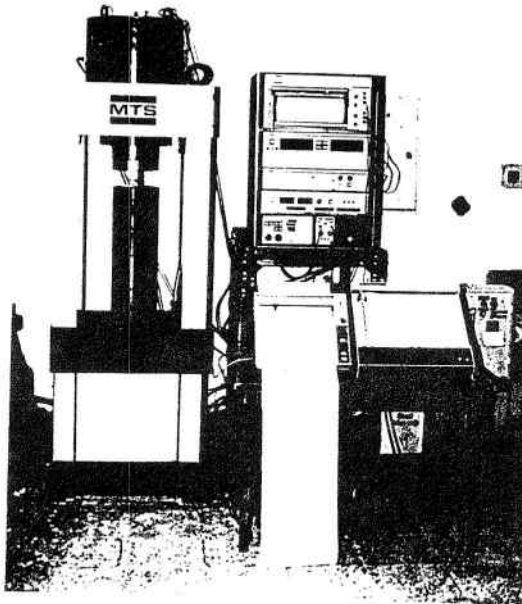
(*) Prof. Dr. Müh. İTÜ Maden Fak. Uyg. Jeol. ABD Maslak/İSTANBUL
(**) Ar.Gör.Yük.Müh. İTÜ Maden Fak. Uyg. Jeol. ABD Maslak/İSTANBUL

yükseltici azot tüpleri tarafından yükün sabit tutulması sağlanmaktadır. Azot tüplerinin diğer bir avantajı da deformasyondan dolayı numunenin yükleme alanında meydana gelen değişimlere rağmen uygulanan yükü uzun süre aynı değerde tutabilmesidir.

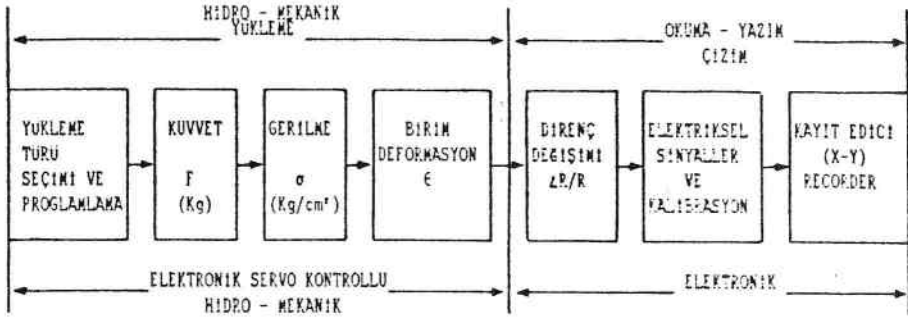
Sistemde deformasyon ölçümleri ise şu şekilde yapılmaktadır. Numune üzerine bir gerilme uygulandığı zaman deformasyonlara bağlı olarak piston hareket etmekte ve ilk konumundan (sıfır konumundan) bir değişiklik olmaktadır.

Deformasyonların bir fonksiyonu olan bu hareket bir kuvvet kaynağı, yükseltici tarafından yükseltilerek volt cinsinden voltmetre kanalıyla okunmaktadır. Aynı zamanda pistonun bu hareketini elektrik sinyalleri halinde dışarı verebilen sistemde, değişimler bu sinyalleri alabilen bir çizici (X-Y recorder) yardımıyla çizdirilebilmektedir.

Deformasyon miktarı ile voltaj ilişkisi doğrusal olan sistemde programlanabilir oluşu nedeni ile mekanik sistemlere göre laboratuvar sonuçlarına yansıyan kişisel deney hatalarının en aza indirgiyebilmektedir.



Şekil 1. Deney Düzeneklerinin Genel Görünüşü.



Şekil 2. M.T.S. Elektronik Servo Kontrollü Hidrolik Pres ile Boyuna Deformasyonların Ölçülmesine Ait Akım Şeması.

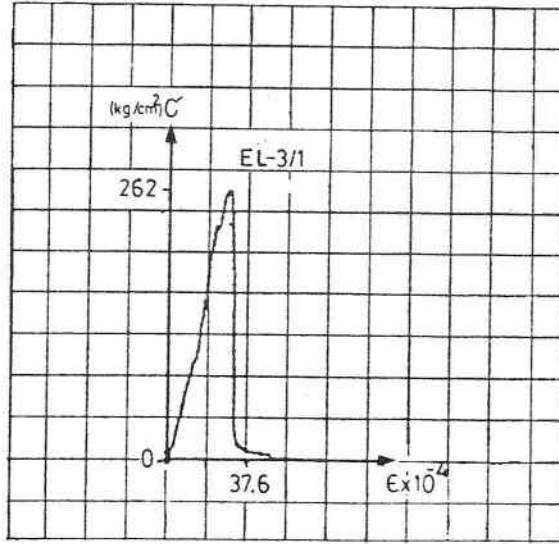
2.1. Trona Karotları Üzerinde Krip Deneyleri

Laboratuvarda tronanın tek eksenli sabit yük altında zamana bağlı krip davranışını belirlemek amacı ile inceleme alanında daha önceden yapılmış olan EL-3, AR-1 ve AR-2 nolu sondajlardan değişik kalınlık ve derinlikteki trona damarlarından alınan numunelerden karakteristik olan üç tanesi üzerinde maksimum basınç direncinin %20, %40, %60 ve %80'ine karşılık gelen sabit yük değerlerinde dört kademeli üç adet krip deneyi yapılmıştır. Deneyler sırasında uygulanacak sabit yükün tayininde her numunenin maksimum basınç direnci baz olarak kullanılmıştır.

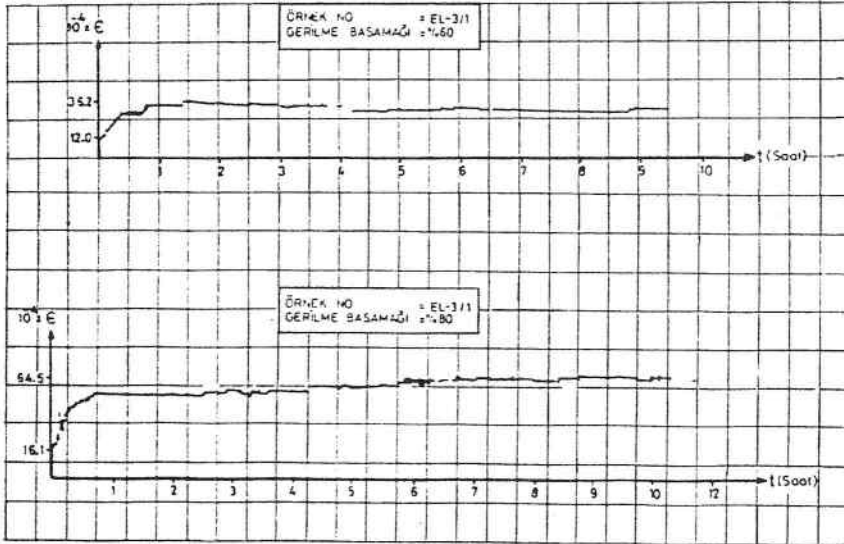
Yüklemelerde deney numuneleri için Tablo 1'de hesaplanmış olan değerler kullanılmıştır. Eksenel yer değiştirmelerin ölçümünde Bölüm 2'de açıklanan deney yöntemi kullanılarak 1E-4 hassasiyetle deformasyon ölçümleri yapılmış ve Hewlett-Packard marka bir kayıt edici kullanılarak deformasyonların zamana göre değişimi çizdirilmiştir (Şekil 3-4).

2.2. Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Her deneyde gerilme basamakları %20 oranında artırılarak dört kademeli üç adet trona numunesi üzerinde krip deneyi ile %100 gerilme basamağı için zamandan bağımsız olarak serbest tek eksenli gerilme durumunda numuneler yüklenecek σ - ϵ eğrileri çizdirilmiştir. Krip deneylerinde uygulanan gerilme basamağı ile krip eğrisinin eğimi arasında doğrusal bir ilişki olduğu gözlenmiştir. Bu durum özellikle %60 ve %80 gerilme basamaklarında elastik davranışta artma ve bunun devamı olan primer krip aşamasında eğrinin eğiminde fazlalaşma, sekonder krip aşamasında ise zamana bağlı olarak plastik deformasyonlarda yavaş bir artma meydana gelmektedir. Krip $\epsilon=f(t)$ ve zamandan bağımsız $\sigma=f(\epsilon)$ eğrilerinden elde edilen sonuçlar Tablo 1'de verilmiştir.



Şekil 3. Tek Eksenli Gerilme Durumunda Tronanin Zamandan Bağımsız Örnek $\sigma=f(\epsilon)$ Grafiği.



Şekil 4. Tek Eksenli Gerilme Durumunda Tronanin Zamana Bağlı Örnek Krip $\epsilon=f(t)$ Grafikleri.

Tablo 1. Trona Numuneleri Üzerinde Yapılan Krip Deneyi Sonuçları.

Örnek No	Gerilme Basamağı		ϵ elastik *E-4	ϵ krip *E-4	Zaman saat
	%	kg/cm ²			
AR-1/1	20	58	3.84	4.8	2
	40	115	8.6	14.6	4
	60	172	13.4	16.7	6
	80	230	17.3	36.5	8
	100	287	22.5	-	Zamandan Bağımsız
EL-3/1	20	52	4.03	6.05	2
	40	104	7.05	17.0	4
	60	157	12.0	24.2	6
	80	209	16.1	48.4	8
	100	262	25.1	-	Zamandan Bağımsız
AR-2/1	20	63	5.04	11.3	2
	40	126	7.05	19.4	4
	60	189	14.1	22.9	6
	80	252	22.1	44.4	8
	100	315	24.2	-	Zamandan Bağımsız

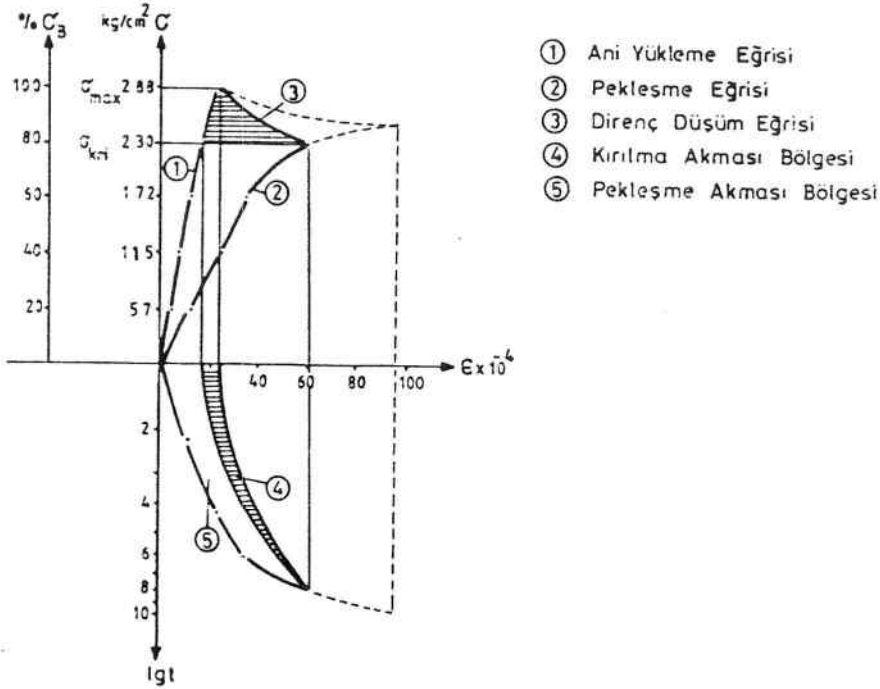
Deney sonuçlarına göre tronanın karakteristik davranışının belirlenmesi amacı ile σ - ϵ -logt diyagramından yararlanılmıştır.

Tablo 2'de görüldüğü gibi ikişer saat zaman aralığına karşılık gelen her gerilme basamağı için elde edilen ϵ elastik ve ϵ krip değerlerinin ortalaması alınarak Şekil 5'de verilen σ - ϵ -logt diyagramı çizilmiştir.

Buna göre trona için maksimum basınç gerilmesi (σ_{max})=288 kg/cm², kritik gerilme (σ_{kri})=230 kg/cm² ve kritik birim deformasyon (ϵ_{kri})=61.3E-4 olduğu belirlenmiştir. Elde edilen σ_{kri} değerleri deney başlangıcından sonraki 10 saatlik ortalama zaman aralığına karşılık gelmektedir. Bu nedenle zamanın daha uzun tutulması durumunda σ_{kri} değerlerinin artabileceği dikkate alınmalıdır.

Tablo 2. Trona Numuneleri Üzerinde Yapılan Krip Deneylerinin Ortalama Sonuçları.

Gerilme Basamağı		Ortalama ϵ elastik *E-4	Ortalama ϵ krip *E-4	Zaman saat
%	kg/cm ²			
20	57	4.3	7.3	2
40	115	7.5	17.0	4
60	172	13.1	21.2	6
80	230	18.5	43.1	8
100	288	23.9	-	Zamandan Bağımsız

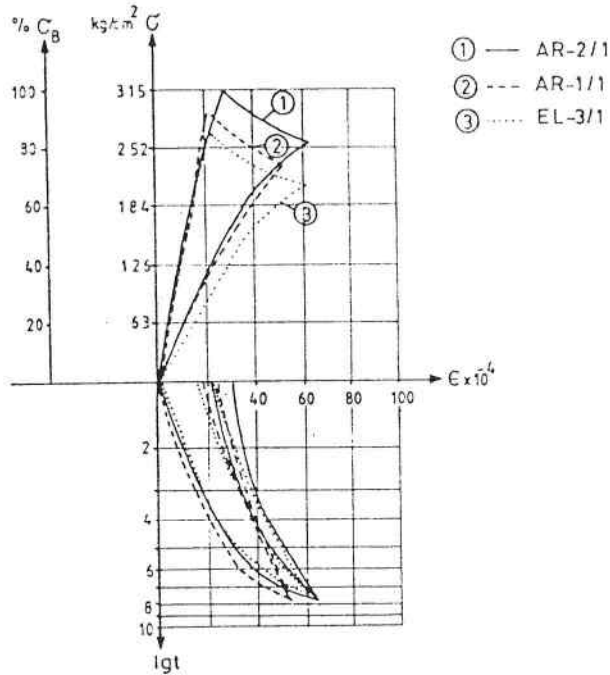


Şekil 5. σ - ϵ -logt Diyagramında Tronanın Davranış Karakteristiği.

Tablo 3. Her Üç Krip Deneyi Sonucunda, σ - ϵ -logt Diyagramından Elde Edilen $\sigma_{\max}$, σ_{kri} ve ϵ_{kri} Değerleri.

Örnek No	Maksimum Gerilme (σ_{kri}) kg/cm ²	Kritik Gerilme (σ_{kri}) *E-4	Kritik Deformasyon ϵ_{kri} E-4	Zaman saat
AR-1/1	287	229	54	8
AR-2/1	315	252	66	8
EL-3/1	262	209	64	8
ORTALAMA	288	230	61.3	8

Sonuç olarak her üç deneyden elde edilen verilerin ortak bir σ - ϵ -logt diyagramında ortak gösterimi sonucunda elde edilen tronanın davranış karakteristiği eğrileri (ani yükleme, direnç düşüm ve pekleşme eğrisi) birbirine yaklaşık olarak uyum göstermektedir.



Şekil 6. σ - ϵ -logt Diyagramında Tronanın Davranış Karakteristiğinin Ortak Gösterimi.

3. Sonuçlar

Kayaçların reolojik özellikleri nedeni ile kırılıncaya kadar değişik deformasyon hızları göstermektedir. Kırılma öncesinde kayacın direncinin azalması nedeni ile deformasyon hızları artmakta, bunun sonucu olarak krip sırasında değişik akma bölgeleri geçilmektedir. Kayaçlarda sabit yük altında zamana bağlı deformasyonları ölçecek özel bir metod yoktur. Genel prensip deney numunesi üzerinde sabit bir yük sağlamaktır. Fakat her zaman sabit yük, sabit bir gerilmeyi elde etmeye yeterli değildir. Bu nedenle elektro-hidrolik sistemlere gereksinim vardır. Deneysel çalışmalardan elde edilen verilerin ortak bir σ - ϵ -logt diyagramında gösterilmesi sonucu tronanın davranış karakteriştiği eğrileri (anı yükleme, direnç düşüm, pekleşme) elde edilmiştir. Buna bağlı olarak, trona için maksimum basınç gerilmesi (σ_{max})=288 kg/cm², kritik gerilme (σ_{kri})=230 kg/cm² ve kritik birim deformasyonun 61.3E-4 olduğu belirlenmiştir.

Trona yatağının üstündeki birimlerde yapılan fiziksel özellik deney sonuçlarına göre, doğal birim hacim ağırlılığına (τ_n) bağlı olarak hesaplanan örtü basıncı 53-76 kg/cm² arasında değişmektedir. Buna göre, trona yatağının üzerindeki örtü basıncı deney sonuçlarından elde edilen kritik gerilme değerlerinin altında bulunduğundan, yapılacak yeraltı işletmeciliği çalışmalarında bu sonucun gerekli mühendislik hesaplarında kullanılması, çalışma sonuçlarının yararlılığı açısından büyük önem taşımaktadır.

YARARLANILAN KAYNAKLAR

- BIENIAWSKI, Z.T., (1970), Time-dependent Behaviour of Fractured Rock., International Journal of Rock Mechanics and Mining Science, Vol.2, No.3, pp.123-137.
- BAYRAKTAR, H., (1989), Beypazarı Trona Sahasındaki Sodalı Kayaçların Zamana Bağlı Dayanım Parametrelerinin Araştırılması, İ.T.. Fen Bilimleri Enstits Master Tezi.
- DOKTAN, M., (1986), Kayaçların Yorulmadan Dolayı Yenilme Zamanının Saptanması, Madencilik Dergisi, Cilt XXV, Sayı No.2, s.25-32.
- ERGUVANLI, K., (1982), Mühendislik Jeolojisi, İ.T.. Maden Fakültesi Yayını, İstanbul.
- HARDY, H.R., (1959), Time-Dependent Deformation and Failure of Geological Materials, Colorado School of Mines, A.B.D.
- İ.T.. MJKM, (1988), Etibank Beypazarı Trona Sahası Kaya Mekaniği Raporu, İstanbul.
- MURREL, S.A.F., MISRA, A.K., (1962), Time-Dependent Strain or Creep in Rocks and Similar Non-metallic Materials, Bull. Inst. Min. Metall., Vol.71, Part.7, pp.353-378.

PAŞAMEHMETOĞLU, G.A., (1982), Kayaçların Sünme Özellikleri ile Bazı Mekanik ve Fiziksel Özellikleri Arasındaki İlişki Üzerine Bir Çalışma, O.D.T.Ü. Maden Mühendisliği Bölümü, Ankara.

VARDAR, M., (1979), Kayanın Zamana Bağlı Kırılma Davranışının Madenlerdeki Kaya Yapılarının Stabilitesine Olan Etkisi, VII. Madencilik Kongresi, Ankara.

YÜZER, E., ZANBAK, C., (1974), Jeolojide Deneysel Kaya Mekanığı (Çeviri), İ.T.Ü. Kütüphanesi, Sayı 988, İstanbul.

YÜZER, E., VARAR, M., (1986), Kaya Mekanığı, İ.T.Ü. Vakfı Yayını, İstanbul.

Şekil 1. Deney Düzeneklerinin Genel Görünüşü.

Şekil 2. M.T.S. Elektronik Servo Kontrollü Hidrolik Pres ile Boyuna Deformasyonların Ölçülmesine Ait Akım Şeması.

Şekil 3. Tek Eksenli Gerilme Durumunda Tronanın Zamandan Bağımsız Örnek $\sigma=f(\epsilon)$ Grafiği.

Şekil 4. Tek Eksenli Gerilme Durumunda Tronanın Zamana Bağlı Örnek Krip $\epsilon=f(t)$ Grafikleri.

Şekil 5. $\sigma-\epsilon-\log t$ Diyagramında Tronanın Davranış Karakteristiği.

Şekil 6. $\sigma-\epsilon-\log t$ Diyagramında Tronanın Davranış Karakteristiğinin Ortak Gösterimi.

Tablo 1. Trona Numuneleri Üzerinde Yapılan Krip Deneyi Sonuçları.

Tablo 2. Trona Numuneleri Üzerinde Yapılan Krip Deneylerinin Ortalama Sonuçları.

Tablo 3. Her Üç Krip Deneyi Sonucunda, $\sigma-\epsilon-\log t$ Diyagramından Elde Edilen σ_{max} , σ_{kri} ve ϵ_{kri} Değerleri.

KAYALARDA ISININ YUMUŞAMA ÖZELLİĞİNE ETKİSİ

The Effect of Heat On The Ductility Behaviour of Rocks

Nejdet Köksal (*)

ÖZET

Bu çalışmada Beypazarı bitümlü şeylinin termomekanik özellikleri laboratuvarında araştırılmıştır. BX çaplı kaya örneklerinde üç eksenli basma deneyleri yapabilmek için ısıtıcı ile donatılı bir deney hücresi tasarlanmış ve imal edilmiştir. Değişik ısı ve yan basınç koşullarında, bitümlü şeylin dayanımı tesbit edilmiş, yumuşamanın sıcaklık ile değişimi incelenmiştir.

ABSTRACT

In this study thermomechanical properties of Beypazarı bituminous shale were investigated in the laboratory. A triaxial testing cell which is equipped with a heating assamlage was designed and built to carry out triaxial tests on BX size rock specimens. Strength of bituminous shale was determined at various combinations of confining pressure and temperature and variation of ductility with temperature was studied.

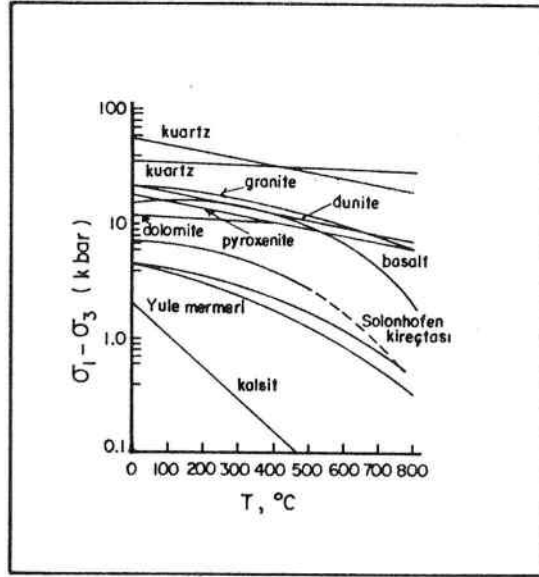
(*) Dr. Maden Yüksek Müh. Karayolları Genel Müdürlüğü Teknik Araştırma
Dairesi Başkanlığı YÜCETEPE/ANKARA

1- GİRİŞ

Yakın zamanlarda nükleer atıkların yer altında depolanması, muhafaza ve kontrol altında tutulması açısından önem kazanmıştır. Bu tür malzemeler radyoaktivite yanında ısı da yayımladıkları için geçirgen olmayan ortamlarda saklanması söz konusudur. Geçirgen olmayan granit blokları gibi ortamlar ve mekanik özellikleri nedeni ile "Salt dome" denilen tuz oluşumları bu tür aktiviteler için iyi özellikler taşıyan oluşumlardır. Bu nedenlerle ısı ve basınç etkisi altında kalan kayaçların mekanik özelliklerindeki değişimler projelendirme açısından önemlidir. Böyle bir araştırma sonucunda, projelendirme açısından önemli olan parametrelerin en uygun değerlerinin saptanması yanında, temel araştırmalara da katkısının olacağı kaçınılmaz gerçektir. Bu çalışmanın Beypazarı bitümlü şeyli üzerinde yapılmasına bir başka sebep ise düşük kalorili bu yakıtın ucuz bir yöntem olan yerinde yakma ile gaz olarak değerlendirilme olasılığının varlığıdır. Bu durumda yatağın damıtma odası olarak işlev görmesi nedeni ile elde edilen parametrelerin faydalı olacağı umulabilir.

2. ÖNCEKİ ÇALIŞMALAR

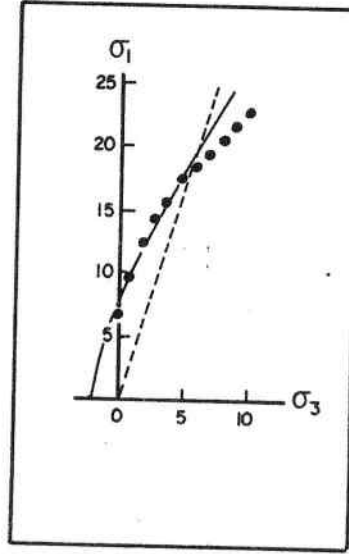
Hidrostatik basınç ve ısıнын etkisini göz önüne alarak ilk deneyler Griggs ve arkadaşları (1951,1953) tarafından Yule mermeri üzerinde yapılmıştır. Bundan sonra Hasmark dolomiti Handin ve arkadaşları (1958), Kalsit Kristali Turner ve arkadaşları (1954), tarafından test edildi. Birçok araştırmacı değişik kaya üzerinde deneyler yaptı. Bu konuda yapılan deneylerin sonuçları Şekil 1'de gösterilmiştir.



Şekil 1. Çeşitli Taşların Isı Etkisi Altında Üç Eksenli Basma Dayanımları

Yapılan bu deneylerden sonuç olarak sabit ısı altında artan hidrostatik basınçlarda taşların üç eksenli basma dayanımlarının arttığı, fakat sabit hidrostatik basınçlarda ve artan sıcaklık değerlerinde ise üç eksenli basma değerlerinde azalma gösterdiği gözlenmiştir. Yüksek ısı ve hidrostatik basınç altında yapılan bu deneylerin hepsi taşlarda ve minerallerde kalıcı deformasyonları ve jeolojik olayları anlamak için gerçekleştirilmiştir. Bu deneyler çoğu zaman 1 ile 10 kbar arasında değişen hidrostatik basınç ve 500°C ya da biraz fazla ısı değerlerinde yapılmıştır.

Kayaların davranışları, yükselen yan basınçlarda değişerek kırılganlıktan yumuşamaya geçer (Mogi 1966). Bu geçiş noktası, birçok kayaç için $\sigma_1 = 3.4 \sigma_3$ olarak bulunmuştur. Schwartz (1964) tarafından Indiana kireçtaşı üzerinde yapılan üç eksenli basma dayanımı neticesi aşağıdaki şekilde sunulmuştur.



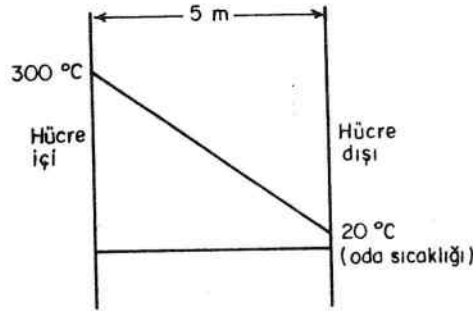
Şekil 2. Indiana Kireçtaşı Üzerinde Yapılan Üç Eksenli Basma Dayanımı Deneyi (Schwartz 1964)

3. TEST CİHAZI VE YÖNTEM

Muhtelif ısı ve yan basınç koşullarında deneyler gerçekleştirebilecek özel bir deney düzeneği gerekmiştir. Geliştirilen deney düzeneğinin ana üniteleri şunlardır ;

1. Üç eksenli hücre
2. Yan basınç sağlayan pompa ve kontrol ünitesi
3. Düşey yükleme sistemi
4. Isı sağlama ve kontrol ünitesi
5. Deformasyon ölçüm sistemi

Deney esnasında hücre içinde oluşabilecek ısı oda sıcaklığından 300°C kadar değişmektedir. Bu nedenle hücrede oluşabilecek en kritik sıcaklık 300°C dir. Buna göre hücre cidarındaki ısı dağılımı logaritmik olmasına rağmen pratik olarak aşağıdaki gibi gösterilebilir (Şekil 3). Janna, W.S. (1986).



Şekil 3. Hücre Cıdarında Isı Dağılımı

MKE demir çelik normları katoloğuna göre Ç-1020 çeliğinde ısı nedeni ile mukavemetin değişim oranı $0.5 \text{ MPa}/^{\circ}\text{C}$ olarak hesaplanmıştır. Ç-1020 çeliğinin kopma dayanımı ise $410\text{-}540 \text{ MPa}$ 'dır. Bu araştırmada hidrolik basınç $0\text{-}50 \text{ MPa}$ olarak düşünülmüş olduğundan bu hücrenin basınçlar altında emniyetli bir şekilde kullanılabilceği bulunmuştur.

Hücre içinde bir taşıyıcı sistem vardır bunun görevi küresel platenleri ve numuneyi hücre içine taşımak ve doğru pozisyonda tutmaktır.

3.1. Hidrolik Basınç Sağlama ve Kontrol Etme

Hidrolik basınç sağlamak ve kontrol etmek için bir el pompası kullanılmıştır. Bu pompa istenilen hidrolik basınç miktarını sağlamakta ve sabit değerlerde tutmakta yeterlidir.

3.2. Yükleme Ünitesi

Düşey yükün uygulanmasında ve kontrol edilmesinde 2000 kN kapasitesindeki bir hidrolik press kullanılmıştır.

3.3. Isı Sağlama ve Kontrol Etme

Isıtıcı yüksek kaliteli çelikten ve içi içe geçen iki tübün kapatılarak ve içine rezistans tel sarılması ile yapılmıştır. Dış çapı 13.5 cm ve iç çapı 8.0 cm dir. Krom-Nikel alaşımı ısıtıcı tel seramik boncuklarla tamamen yalıtılmıştır. Isıtıcının içi tamamen alumina tozu ile doldurularak, yağ basıncına karşı direnci artırılmış ve elektrik yalıtınlığına katkısı sağlanmıştır. Ayrıca alüminanın ısı iletkenliği daha yüksek olduğu için ısınmayı geciktirici etkiside yoktur.

Hücre içindeki ısının ölçülmesinde Fe-Cu-Ni alaşımında termokupl kullanılmıştır. Bu termokuplin koruyucusuda yüksek kaliteli çelikten hücre içindeki basınca dayanacak ölçülerde tasarlanmıştır.

Hücre içindeki ısı değişken transformatör ile kontrol ve ayar edilmiştir.

3.4. Deformasyon Ölçüm Cihazı

Deformasyon ölçümü için 2 adet dial mikrometre kullanılmıştır.

3.5. Numune Hazırlama ve Kaplama Kılıfı

Beypazarı kömür madeni bölgesinden alınan karot örnekleri ISRM'nin önerilen yöntemlerine göre deney için hazırlanmışlardır. Hazırlanan örnekler deney sırasında sızdırmazlık sağlamak için alüminyum folyo ile kaplanarak oda sıcaklığında bekletilmişlerdir.

3.6. Deney Yöntemi

Folyo ile kaplanmış numune hücrenin içine platenlerin üzerine konulmuş ve hücre içine kapak seviyesine kadar yağ pompalayarak kapakları monte edilmiştir. Deformasyon ölçerler yerleştirilerek, hücreuygun sıcaklığa kadar ısıtılmış ve düşey yük ile hücre basıncı birlikte yükseltilerek uygun hücre basıncına ulaşınca

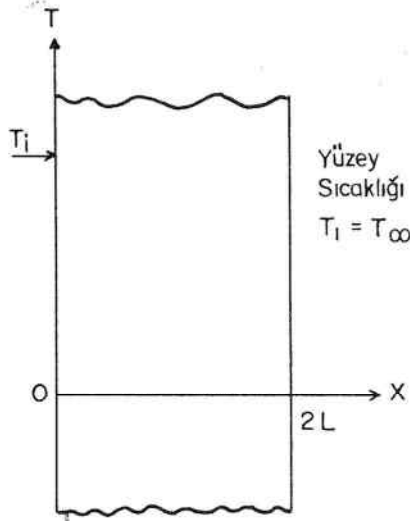
0.5-1.0 MPa yükleme hızı ile taş kırılncaya kadar yüklenmiş ve yük-deformasyon miktarları kaydedilmiştir.

3.6.1. Numunenin Homojen Olarak Isıtılması İçin Geçen Zamanın Hesabı

Üç eksenli hücre içindeki taşın ne kadar zamanda istenilen ısı derecesine, homojen olarak ısıtılabilceğini anlaşılması gerekmektedir. Bu nedenle termodinamiğinin yaklaşımlarından yararlanarak, kuramsal olarak deney numunesinin ne kadar zamanda istenilen sıcaklığa homojen olarak ısıtılabilceği araştırılmıştır.

Bu termodinamik sistemin çözümü için yüzey ısı transfer katsayısının ihmal edilebilir olduğu durum göz önüne alınmıştır. Janna, W.S. (1986).

Şekil 4'de gösterilen $2L$ genişliğinde ve sonsuz uzunluktaki plaka başlangıçta homojen T_1 sıcaklığında olduğunu varsayalım.



Şekil 4. Kalınlığı $2L$ Olan Sonsuz Plaka

Bu plakanın yüzeyleri ısısı T_{∞} olan bir sıvı ile soğutulur (ya da ısıtılırsa), sıcaklık x ve zaman (t) göre değişir. Bu durumda, zaman ve ısı transfer oranına göre sıcaklık profili aşağıdaki gibi öngörülür.

$$\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

Bu durumda sınır şartları

$$x=0 \text{ veya } 2L, T=T_1$$

$$x=L, \quad \frac{\partial T}{\partial x} = 0$$

ve başlangıçta

$$t=0, \quad T=T_i$$

Denklemleri aşağıda verildiği gibi birimlerden kurtararak yazmak avantajlıdır.

$$\theta = \frac{T - T_1}{T_i - T_1}, \quad \xi = \frac{x}{L}, \quad \tau = \frac{t}{t_r}$$

$$\frac{\partial^2 \theta}{\partial \xi^2} = \frac{L^2}{\alpha t_r} \frac{\partial \theta}{\partial \tau} \quad (2)$$

Bu durumda sınır ve başlangıç şartları

$$\xi=0 \quad \theta=0$$

$$\xi=1 \quad \theta=0$$

$$\tau=0 \quad \theta=1$$

α = ısı yayılım katsayısıdır, ve;

$$\alpha = \frac{k(L^2)}{\rho_s c(T)} \quad \text{olarak tarif edilir.}$$

Fourier Modülü ise

$$F_o = \frac{\alpha t_r}{L^2} \quad \text{olarak tanımlanır.}$$

Yukanda (2) verilen denklem sınır ve başlangıç koşulları göz önüne alınarak çözüldüğünde;

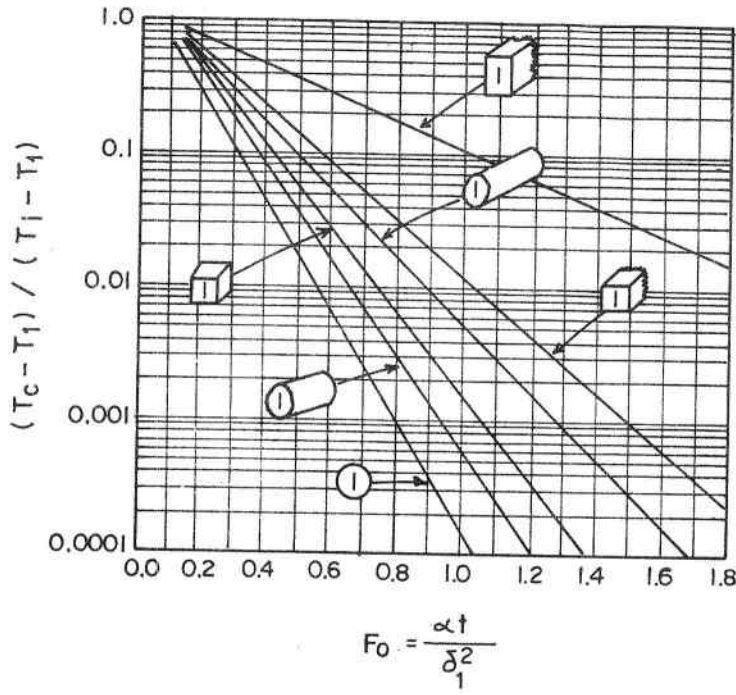
$$\frac{T - T_1}{T_i - T_1} = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \exp \left[(1-n\pi/2L)^2 \alpha t \right] \sin (n\pi x / 2L)$$

ve $n=1,3,5,\dots$

$X=L$ de yani malzemenin simetri ekseninde sıcaklık değişimi;

$$\frac{T - (L, t) - T_1}{T_i - T_1} = \frac{4}{\pi} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \exp \left[(-n\pi/2L)^2 \alpha t \right] \sin (n\pi/2) = P(F_o)$$

Plakanın orta eksenindeki boyutsuz ısı dağılımını $P(F_o)$ temsil etmektedir. $P(F_o)$ değeri muhtelif $\alpha t/L^2$ değerleri için çözümlenmiş ve Şekil 5'de verilmiştir. Bu çözüm yöntemi takip edilerek tasarlanmış deney sıcaklığındaki (100, 200, 300°C) ve bitümlü şeylin termodinamik özelliklerine göre Tablo 1'de verilen değerler hesaplanmıştır.



Şekil 5. Sonsuz Plaka İçin Merkezde Boyutsuz Zamana Göre Boyutsuz Isı Dağılımı

Tablo 1. Bitümlü Şeylin Homojen ve İstenilen Isıya Kadar Ulaşılmasında Geçen Zaman

T (°C)	Cp (Cal / °C gm)	ρ (gr / cm ³)	k (Cal / cm ² °C sec)	t (min)
100°	1.1	2.073	76.4 x 10 ⁻⁹	23.47
200°	1.1	2.073	76.4 x 10 ⁻⁹	30.71
300°	1.1	2.073	76.4 x 10 ⁻⁹	32.25

Bulunan bu zaman aralıkları deney numunesinin homojen ısıya ulaşabilmesi için geçebilecek en az zamandır. Bu rakamlara hücre yağının istenilen ısıya ulaşabilmesi için geçen zaman ilave edildiğinde hücrenin devresi açıldıktan sonra deneye hazır hale gelebilmesi için geçen zaman bulunur. Deney süresi 15-20 dakikalık bir zaman gerektirmektedir. Böylece en fazla süre 1.5 saati ancak aşmaktadır.

4. DENEY SONUÇLARI

Isının Beypazarı Bitümlü Şeylinin üç eksenli basma dayanımına ve yumuşamasına etkisini araştırmak için oda sıcaklığında, 100, 200, 300°C de ve 0, 10, 20, 30, 40, 50 MPa yan basınçlarda deneyler yapılmıştır. Bunların yanında Beypazarı Bitümlü Şeylinin, tek eksenli basma dayanımı, çekme dayanımı, birim hacim ağırlığı ve elastik modulde saptanmıştır. Tablo 2.

Tablo 2. Beypazarı Bitümlü Şeylinin Bazı Mekanik Değerleri

	Ortalama	Standart Sapma
Tek Eksenli Basma Dayanımı (MPa)	49.13	2.80
Çekme Dayanımı (Brazilian test) (MPa)	6.44	0.79
Birim Hacim Ağırlığı (kN / m ³)	20.33	0.02
Elastik Modülü (GPa)	6.129	1.32

4.1. Üç Eksenli Basma Dayanımı

Oda sıcaklığından 300°C kadar ve 0-50 MPa yan basınçlarda yapılan üç eksenli basma deneyi değerleri Tablo 3 verilmiştir. Bu tabloda verilen değerler ortalama değerlerdir.

Tablo 3. Değişik Isı ve Yan Basınçlarda Üç Eksenli Basma Değerleri (MPa)

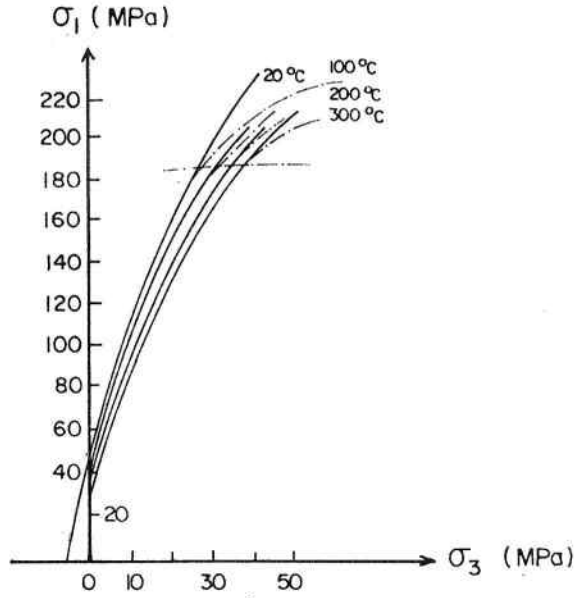
$T^{\circ}C$ σ_3 (MPa)	Oda Sıcaklığı σ_1 (MPa)	100° σ_1 (MPa)	200° σ_1 (MPa)	300° σ_1 (MPa)
0	49.13	42.56	37.07	33.34
10	113.27	111.30	95.32	88.45
20	162.69	152.49	141.31	131.60
30	185.44	179.07	172.69	164.95
40	203.88	199.37	190.74	184.56
50	219.77	218.69	213.88	206.92

Tablodan anlaşılacağı gibi sabit sıcaklıkta artan yan basınç değerlerinde kayacın üç eksenli basma değeri artmaktadır. Ancak sabit yan basınç değerlerinde ve artan sıcaklıklarda üç eksenli basma değerleri azalmaktadır. Yapılan deneylerden Mohr diyagramlarında çizilerek ϕ iç sürtünme açısının değişimide gözlenmiştir. Mohr zarfının eğimi eğrinin ilk kısımlarında 50 derece iken, linear olan son kısımlarda 17°'lik değere ulaşmıştır. Ayrıca ısının, taşın iç sürtünme açısı üzerinde etkileyici olmadığı tesbit edilmiştir.

Yan basıncın "0" olduğu durumda artan ısı değerlerinde birim deformasyon değerlerinde önemli bir değişim gözlenmemiştir. Ancak σ_3 değerinin 10 MPa'den 50 MPa kadar olan değerlerinde ve artan ısı değerlerinde, birim deformasyonlar artmıştır.

4.2. Bitümlü Şeyde Yumuşamanın Değişimi

Yapılan deneylerden iki önemli değişkenin etkileri gözlenmiştir. Bunlar yan basınç ve ısıdır. σ_1 'in σ_3 'e göre değişimi değişik sıcaklıklarda Şekil 6'da gösterilmiştir.



Şekil 6. Isı Etkisi Altında σ_1 'in σ_3 Göre Değişimi

4.2.1. Yan Basıncın Etkileri

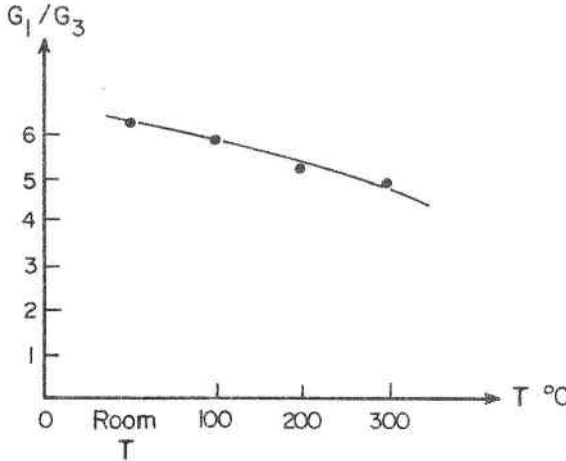
Yan basıncın artması ile aşağıda saptanan etkiler gözlenmiştir.

- i. Yenilmeden önce ulaşılmış olan birim deformasyon artmıştır.
- ii. Gerilme-Birim deformasyon eğrisinin daha yüksek birim deformasyon değerlerine ulaşma eğilimleri vardır.
- iii. Gerilme-Birim deformasyon eğrisinin olduğu gibi yukarıya kaydıği gözlenmiştir.

Deneyler sonucunda, düşük yan basınç değerlerinde boyuna dilimlenerek yenilme gözlenirken, daha yüksek yan basınç değerlerinde ise şişme şeklinde bir yenilme gözlenmiştir.

4.2.2. Isının Etkisi

Kırılganlıktan yumuşamaya geçiş noktası olarak ifade edilen σ_1 / σ_3 değeri ısının artması ile azalmaktadır. Şekil 7.



Şekil 7. Isın Etkisi Altında Kırılgan Durumdan Yumuşak Duruma Geçiş

Oda sıcaklığında kırılgan-yumuşak geçiş oranı 6.33 iken bu değer, 100°, 200°, 300°C değerlerde sırası ile 5.90, 5.28, 4.87 olarak tesbit edilmiştir.

4.3. Materyal Sabitleri

Hoek ve Brown (1980) verilen hesaplama yöntemine göre materyal

sabitleri m, s ve zarf sabitleri A, B değişik ısı değerleri için hesaplanmıştır.

Kayaçlarda yenilme;

$$\sigma_1 = \sigma_3 + (m \sigma_c \sigma_3 + s \sigma_c^2)^{1/2}$$

Mohr zarfı;

$$\tau / \sigma = A \left(\sigma / \sigma_c - \sigma_f / \sigma_c \right)^B \text{ olarak ifade edilmiştir. Buna göre}$$

Tablo 4 hazırlanarak sunulmuştur.

Tablo 4. Bitümlü Şeylin Materyal ve Zarf Sabitleri

	m	s	r^2	A	B
Oda Sıcaklığı	7.216	1.000	0.917	0.837	0.840
100° C	7.171	0.792	0.955	0.843	0.837
200° C	7.018	0.478	0.974	0.841	0.784
300° C	6.557	0.338	0.983	0.822	0.760

5. SONUÇ

Beypazarı bitümlü şeylinin artan ısı ve yan basınçlarda üç eksenli basma dayanımı ve yumuşama davranışı araştırılmıştır. Bunların yanında bazı mekanik özellikleride tesbit edilmiştir.

- Sabit ısı altında ve artan yan basınçlarda üç eksenli basma değerleri artmaktadır. Gerilme-Birim deformasyon eğrileri yukarıya kaymaktadır. Basma dayanımındaki artışın oranı artan yan basınçlarda azalmaktadır.
- Sabit yan basınç ve artan ısı değerlerinde üç eksenli basma değerlerinde azalma gözlenmiştir. Azalma oranları değişik yan

basınçlarda benzer oranlar göstermektedir.

- iii. İç sürtünme açısının değişik ısı değerleri için benzer sonuçlar gösterdiği ve bu nedenle ısının iç sürtünme açısı için bir fonksiyonel değişken olmadığı anlaşılmıştır.
- iv. Artan yan basınç ve ısı değerleri için kırılmalardan yumuşamaya geçişte σ_1 / σ_3 değerleri azalmaktadır. Oda sıcaklığında bu oran 6.33 iken 100°, 200°, 300°C 'lerde sırası ile 5.90, 5.28, 4.87 olarak tesbit edilmiştir.
- v. Yenilme anındaki birim deformasyon sabit ısıda artan yan basınç değerlerinde artmıştır.
- vi. Yan basıncın, yenilme esnasındaki deformasyona ve basma dayanımına olan etkisi ısının etkisine göre çok fazladır.
- vii. Materyal sabitleri m ve s ısının artması ile azalma eğilimi göstermişlerdir.

KAYNAKLAR

- Griggs, D.T., Turner, G.J., Borg, L., Deformation of Yule Marble Part IV, Effects at 150°C, Bull. Geol. Soc. America, Vol 62, 1951, pp. 1385-1405.
- Griggs, D.T., Turner, G.J., Borg, L., Deformation of Yule Marble Part V, Effects at 300°C, Bull. Geol. Soc. America, Vol. 64, 1953, pp. 1327-1352.
- Handin, J., Fairbairn, H.W., Experimental Deformation of Hasmark Dolomite, Bull. Geol. Soc. America, Vol. 66, 1953, pp. 1257-1273

- Hoek, E.,** Brown, E.T., Underground Excavation in Rock, The Institution of Mining and Metallurgy, London, 1980, pp. 131-177.
- ISRM,** Suggested Method for Determining the Uniaxial Compressive Strength of Rocks, Int. Jour. Rock. Mech. and Min. Sci and Geomec. Abst. Vol. 16, 1979.
- ISRM,** Suggested Method for Determining the Strength of Rock Materials in Triaxial Compression, Int. Jour. Rock Mecha. and Min. Sci. and Geomec. Abst., Vol. 15, 1978, pp. 49-51.
- Janna, W.S.,** Engineering Heat Transfer. PWS Publishers, 1986.
- Mogi K.** Pressure Dependence of Rock Strength and Transition from Brittle fracture to Ductile Flow. Bull. Earthquake Res. Inst., Japan, Vol. 44, 1966, pp. 215-232.
- Schwartz, A.E.,** Failure of Rock in the Triaxial Shear Test. Proc. 6 th Rock Mechanics Symp., Rolla, Missouri, 1964, pp. 109-139.
- Turner, F.J.,** Griggs, D.T., Heard, H., Experimental on the Deformation of Calcite Crystals, Bull. Geol. Soc. America, 1954, Vol, 65, pp. 883-934.

MAKASLAMA DAYANIMININ BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEMLER*

Çeviren : Mehmet Ali HINDİSTAN*

Bölüm 1 : DİREKT MAKASLAMA DAYANIMININ YERİNDE (in-situ) BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

1. AMAÇ

1.(a) Bu deneyin amacı, kayma düzleminin tepe ve kalıcı makaslama dayanımlarını makaslama yönüne dik yönde etki eden gerilmelerin bir fonksiyonu olarak belirlemektir. Elde edilen sonuçlar, genellikle, şev duraylılık problemlerinin denge sınırı analizlerinde veya baraj temellerinin duraylılık analizlerinde kullanılmaktadır. [1-3**]

(b) Deney bloğunun eğimi ve uygulanan yükler genellikle kayma düzlemini kayadaki bir zayıflık düzlemi (örneğin bir eklem yüzeyi, tabakalanma düzlemi, şistozite veya klevaj) ile veya zemin-kaya veya beton-kaya dokanak düzlemi ile karşılaştıracak şekilde seçilir [4].

(c) Makaslama dayanımı, aynı düzlem üzerinde yer alan en az beş ayrı numune ve her numune için farklı, fakat sabit dikey gerilim uygulanarak yapılacak deneyler ile belirlenmelidir.

(d) Deney sonuçları uygulanırken, tasarım için boşluk suyu basıncı koşullarının ve ardışık yenilme olasılığının deney koşullarındakinden farklı olabileceği dikkate alınmalıdır.

2. DENEY DÜZENEGİ

2.(a) Deney blokunu kesmek ve etrafını kaplamak için: kaya testeresi, deliciler, çekiç ve keski, polistiren ya da zayıf dolgu malzemesi, ve etrafını çimentolamak için gerekli malzemeler.

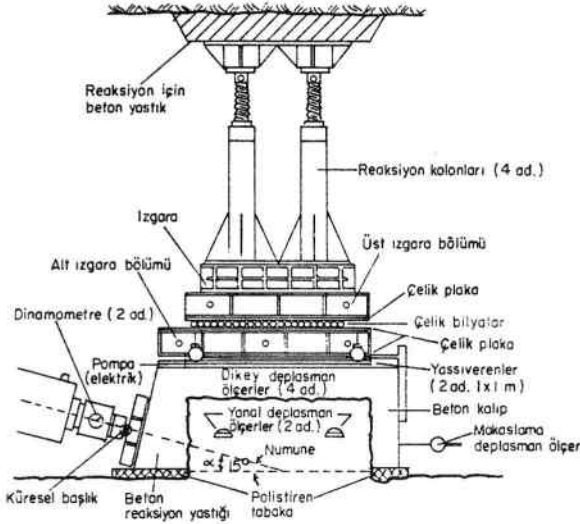
* Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, Editor : E.T.Brown, 1981, pp.129-140, Pergamon Press.

* Maden Yük.Müh., ODTÜ Maden Müh. Bölümü, ANKARA

** Rakamlar yazının sonundaki ilgili notları göstermektedir.

3. Normal yöndeki yükü uygulamak için (Şekil 1):

(a) Deney blokuna dik yönde yük uygulamak için ölü yük, yassıverenler (flat jack) ya da hidrolik pompa [5].



Şekil 1 - Yerinde makaslama deneyi için uygun deney düzeneği

(b) Amaç için bir hidrolik pompa kullanıldığında pompanın hata payı deneyde uygulanacak yükün %2'sinden büyük olmamalıdır.

(c) Dikey yükün numune yüzeyine düzgün dağılımını sağlamak için düşük sürtünme direnci gösteren çelik bilyalar veya benzeri bir sistem kurulmalıdır. Böylece, herhangi bir dikey yük seviyesinde, sistemin makaslama deplasmanına göstereceği dayanım deneyde uygulanacak en yüksek makaslama yükü değerinin %1'inden fazla olmamalıdır.

4. Makaslama yönündeki yükü uygulamak için (Şekil 1):

(a) Makaslama yönünde en az 70 mm.lik deplasmanı sağlamaya uygun yassıverenler ya da bir veya daha fazla sayıda hidrolik pompalar [5].

(b) Makaslama yönündeki yük uygulama sistemini baskılamak amacıyla bir hidrolik pompa.

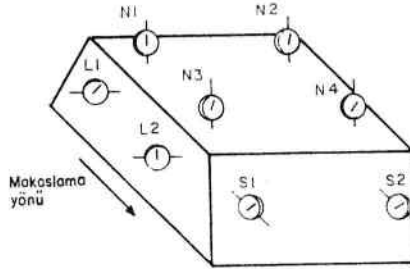
(c) Uygulanan makaslama yükünü blok üzerine transfer edecek bir sistem. Makaslama yükü deney bloku üzerine düzgün bir dağılım ile uygulanmalıdır. Makaslama yükü, doğrultusu makaslama düzleminin merkezinden geçecek biçimde, $\pm 5^\circ$ açılık bir tolerans ile uygulanmalıdır [6].

5. Uygulanacak kuvvetleri ölçmek için :

(a) Normal ve makaslama kuvvetlerini, deneyde ulaşılabilecek en yüksek değer $\pm 2\%$ 'sinden daha düşük bir doğrulukla okuyabilecek ayrı ayrı sistemler hazırlanmalıdır. Bu amaç için, yük hücreleri (dinamometre) ya da yassıverenler kullanılabilir. Eğer mümkünse yük ölçerler deney öncesinde ve sonrasında kalibre edilmelidir.

6. Makaslama, dikey ve yanal yönlerdeki deplasman miktarlarını ölçmek için :

(a) Bu yönlerdeki deplasmanlar (örneğin mikrometre komparatörler kullanılarak [7]) Şekil 2'de görüldüğü gibi, kalıp veya deney bloku üzerinde, belli noktalardan okunmalıdır.



Şekil 2. Deplasman ölçerlerin yerleştirilmesi : S1 ve S2 makaslama yönünde, L1 ve L2 yanal yönde, N1 - N4 normal yönde.

(b) Numune, makaslama yönünde en az 70 mm hareket ettirilebilmeli ve bu yönde kullanılan deplasman ölçerler 0.1 mm hassasiyette olmalıdır. Benzer biçimde, numune, dikey ve yanal yönlerde en az 20 mm hareket edebilmeli ve bu yönlerdeki ölçümler için kullanılan ölçerler 0.05 mm hassasiyette olmalıdır. Bu nedenle deney sistemi (kirişler, saplamalar ve kelepçe bağlantılar) bu deplasmanları karşılayacak kadar rijit olmalıdır. Mümkün ise ölçerlerin deney esnasında tekrar ayarlanmasından kaçınılmalıdır.

3. DENEY YÖNTEMİ

7. Hazırlama :

(a) Deney bloku kayacın yapısına zarar vermeden, uygun bir yöntem ile istenen boyutlarda (genellikle 700*700*350 mm) kesilerek hazırlanmalıdır [8,9]. Deney blokunun tabanı, makaslamanın

uygulanacağı düzlem ile temas etmeli ve mümkün ise makaslama yönü makaslama düzleminin beklenen makaslama hareketi yönünde seçilmelidir. Bloкта ve özellikle makaslama düzleminde, deneyin hazırlık aşamasında ve deney esnasında,tespit edilen yerinde (in-situ) su içeriği mümkün olduğu kadar doğal durumuna yakın muhafaza edilmelidir (örneğin : ıslak bez ile sarmak gibi). Blokun makaslama ve yanıl yönlerdeki hareket serbestliliğini sağlamak için tabanı çevresinde 20 mm derinlik ve 80 mm genişlikte bir kanal açılmalıdır.

(b) Deney bloku tabanı çevresinde, zayıf bir malzemeden (ör.: köpük polistiren) 20 mm kalınlığında bir tabaka oluşturdudan sonra, bloğun deney esnasında dağılmasını ve şekil bozukluğuna uğramasını önlemek için yeterli dayanım ve rijiditeye sahip beton ya da benzeri malzeme ile kalıp içine alınmalıdır (Şekil 1). Deney blokunun çevresini kaplayan beton kalıbın yük uygulanacak yüzeylerinin düz (en fazla ± 1 mm lik bir hata payı ile) ve makaslama düzlemine göre doğru eğimde ($\pm 2^\circ$ lik bir hata payı ile) olması gerekir.

(c) Eğer dikey ve makaslama kuvvetlerini sağlayacak olan sistemler bloğun çevresindeki sağlam ana kaya kütlesine tespit edilecek ise bu amaç için kullanılacak reaksiyon yastıkları, kaya saplamaları, vb. araçlar dikkatli yerleştirilmelidir. Yeterli dayanıma ulaşması için deney öncesinde betonların prizlenmesi için zaman tanınmalıdır.

8. Konsolidasyon (Pekiştirme) :

(a) Deneyin konsolidasyon aşamasında kayaktaki ve makaslama düzlemine bitişik dolgu malzemesindeki boşluk suyu basıncı (pore water pressure) makaslama aşaması öncesinde yüksek dikey gerilim uygulanarak ortamın sudan arınması sağlanır (paragraf 9(c) ye bakınız).

(b) Deneye başlamadan önce bütün deplasman ölçerlerin sağlamlığı, her yöndeki hareket için serbestlikler kontrol edilir, yük ve deplasman ölçerlerin ön ayarlamaları yapılarak değerler kaydedilir.

(c) Makaslama yönüne dik yönde yük uygulanırken bu yönde oluşacak dikey deplasman (pekiştirme) değerleri zamanın ve uygulanan yükün fonksiyonu olarak kaydedilir (Şekiller 3 ve 4).

(d) Düzleme dik yöndeki deplasmanları ölçmek için kullanılan 4 adet ölçerlerin herbirindeki değişim miktarı 10 dakika süre için 0.05 mm den daha az olduğu zaman konsolidasyon aşamasının tamamlandığı kabul edilebilir. Bu belirlemeden sonra makaslama yönünde yük uygulanmaya başlanır.

9. Makaslama :

(a) Makaslama hareketinin amacı, deney düzleminin tepe (peak) ve kalıcı (residual) makaslama dayanım değerlerini tespit etmektir [2]. Makaslama esnasında, düşey yöndeki gerilmeyi sabit tutmak için dik yönde uygulanan kuvvet miktarlarında düzeltme gerekebilir. Bunlar paragraf 10(c) de açıklanmaktadır.

MAKASLAMA DENEYİ VERİ TABLOSU

Proje Şehri :		Proje Konusu :		Laboratuvar :		Lok. No :		Blok No.2	
DENEY BİLDİRİ İÇİMLİ TANIMLAMALAR		Bakınız, ayrı parçalar ve fotoğraflar		KURUVELER					
DENEYİ YAPILACAK KAZANIN CİHAZI, İNCELEME DEĞERLERİ VE SÖZLEŞİŞİ :									
Makaslıma yapılacak düzlemin genişliği ve yüksekliği : Düzlem genişliği : 0,140 m. Düzlem yüksekliği : 0,140 m. Düzlem alanı : 0,0196 m ²		Yükseklik : 0,140 m. Düzlem alanı : 0,0196 m ²		Yükseklik : 0,140 m. Düzlem alanı : 0,0196 m ²		Yükseklik : 0,140 m. Düzlem alanı : 0,0196 m ²		Yükseklik : 0,140 m. Düzlem alanı : 0,0196 m ²	
1	2		3		4		5		6
	Normal yükler		Kazan yükleri		Yükseklik		Yükseklik		
Geçen zaman (sn)	Yükseklik (mm)		Yükseklik (mm)		Yükseklik (mm)		Yükseklik (mm)		Yükseklik (mm)
	Yükseklik (mm)		Yükseklik (mm)		Yükseklik (mm)		Yükseklik (mm)		
10	135	0,135	0,135	0,135	0,135	0,135	0,135	0,135	135
20	223	0,223	0,223	0,223	0,223	0,223	0,223	0,223	223
30	270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	0,270	270
40	308	0,308	0,308	0,308	0,308	0,308	0,308	0,308	308
50	343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	0,343	343
60	380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	0,380	380
70	417	0,417	0,417	0,417	0,417	0,417	0,417	0,417	417
80	453	0,453	0,453	0,453	0,453	0,453	0,453	0,453	453
90	490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	0,490	490
100	527	0,527	0,527	0,527	0,527	0,527	0,527	0,527	527
110	574	0,574	0,574	0,574	0,574	0,574	0,574	0,574	574
120	611	0,611	0,611	0,611	0,611	0,611	0,611	0,611	611
130	647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	0,647	647
140	684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	0,684	684
150	721	0,721	0,721	0,721	0,721	0,721	0,721	0,721	721
160	758	0,758	0,758	0,758	0,758	0,758	0,758	0,758	758
170	795	0,795	0,795	0,795	0,795	0,795	0,795	0,795	795
180	832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	0,832	832
190	869	0,869	0,869	0,869	0,869	0,869	0,869	0,869	869
200	906	0,906	0,906	0,906	0,906	0,906	0,906	0,906	906
210	943	0,943	0,943	0,943	0,943	0,943	0,943	0,943	943
220	980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	0,980	980
230	1017	1,017	1,017	1,017	1,017	1,017	1,017	1,017	1017
240	1054	1,054	1,054	1,054	1,054	1,054	1,054	1,054	1054
250	1091	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091	1,091	1091
260	1128	1,128	1,128	1,128	1,128	1,128	1,128	1,128	1128
270	1165	1,165	1,165	1,165	1,165	1,165	1,165	1,165	1165
280	1202	1,202	1,202	1,202	1,202	1,202	1,202	1,202	1202
290	1239	1,239	1,239	1,239	1,239	1,239	1,239	1,239	1239
300	1276	1,276	1,276	1,276	1,276	1,276	1,276	1,276	1276

$P_{10} = P_{20} + P_{30} \sin \alpha$
 $P_{20} = P_{30} \cos \alpha$
 $C_{10} = P_{10} / A$
 $T = P_{20} / A$

$\alpha = 15^\circ$ C_{10} (nominal)

$\alpha = 15^\circ$ Normal displacement

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230 240 250 260 270 280 290 300

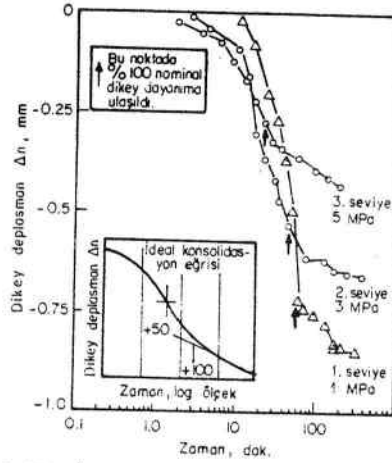
1 2 3 4 5 6 7 8 9 10

10 20 30 40 50 60 70 80 90 100

110 120 130 140 150 160 170 180 190 200

210 220 230

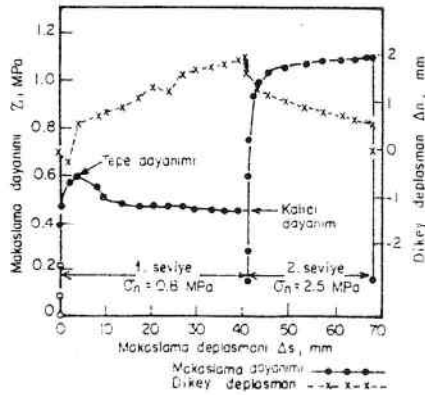
Şekil 3. Direkt Makaslama Deneyi Veri Tablosu İçin Bir Örnek



Şekil 4. Üç seviyeli direkt makaslama deneyinde konsolidasyon eğrileri. 100 değerinin hesaplanma-sını göstermektedir.

(b) Makaslama kuvveti ya belli aralıklarla artırılarak ya da makaslama deplasman miktarları dikkate alınarak sürekli uygulanır.

(c) Tepe dayanımına (peak strength) ulaşmadan önce yaklaşık 10 seri okuma kaydedilmelidir (Şekiller 3 ve 5). Bir seri okuma yapmak için makaslama deplasmanının hızı 10 dakika süre için 0.1 mm/dakikadan daha az olmalıdır. Bu hız, tepe dayanım değeri yeterli olarak kaydedilmesi şartı ile, seri okumalar arasında 0.5 mm/dakikaya kadar artırılabilir.



Şekil 5. Makaslama dayanımı - deplasman eğrileri

Kuru (drained) deneylerde, özellikle kil dolgulu süreksizlikler için, tepe dayanım değerine erişmek için gereken toplam zaman konsolidasyon eğrisinden hesaplanacak $6 \cdot t_{100}$ (paragraf 10(a) ve Şekil 4) değerini aşmalıdır. Gerekirse, bu değeri yakalamak için makaslama hızı düşürülebilir.

(d) Tepe dayanımı değerine ulaştıktan sonra, uygun bir kuvvet-deplasman eğrisi elde edebilmek için, okumalar 0.5 mm'lik makaslama deplasmanı aralıklarıyla 5 mm'ye kadar yapılmalıdır (Şekil 5). Makaslama deplasmanındaki artış hızı 10 dakika süre için 0.02-0.2 mm/dakika olmalıdır. İstendiğinde bu değer seri okumalar arasında en fazla 1 mm/dakikaya yükseltilebilir.

(e) Kalıcı makaslama dayanımını (residual shear strength) bulmak için sabit dikey gerilim altında makaslama kuvvetinin uygulanmasına devam edilerek en az dört okuma yapılmalı ve bu aşamada, uygulanan makaslama kuvvetindeki değişim miktarının 1 cm'lik makaslama deplasmanı için %5'ten fazla olmamasına dikkat edilmelidir [11].

(f) Kalıcı bir dayanım değerine ulaştıktan sonra ek değerler okumak için düşey yöndeki yük artırılarak ya da azaltılarak makaslama işlemine devam edilir [12]. Deney örneği, her yeni dikey gerilim değeri için tekrar konsolidasyon işlemine tabi tutulmalı (bak. paragraf 8(d)) ve her yeni değer için makaslama işlemi yukarıda paragraflar 9(c)-9(e)'de açıklandığı gibi tekrarlanmalıdır.

(g) Deneyden sonra blok ters çevrilerek makaslama yapılan düzlemin fotoğrafları çekilmeli ve durum detaylı bir biçimde tanımlanmalıdır (bak. paragraf 11). Makaslama yapılan düzlemin alan ölçüleri, dalma açısı ve yönü, pürüzlülük değerleri not edilmelidir. Ayrıca, indeks deneyleri için kayaktan, dolgu malzemesinden ve makaslama sonucu oluşan kırıntılardan örnekler alınmalıdır.

4. HESAPLAMALAR

10.(a) Deneyin konsolidasyon aşaması için bir konsolidasyon eğrisi çizilmelidir (Şekil 4). "İlk Konsolidasyon" aşaması için t_{100} zaman değeri şekilde görüldüğü gibi eğriye belli bir noktada teğet çizilerek hesaplanır. Boşluk suyu basıncının ortamdan çekilmesini sağlamak için, makaslama yükünün uygulandığı andan tepe dayanım değerine erişene kadar $6 \cdot t_{100}$ değerinden daha uzun bir sürenin geçmesine dikkat edilmelidir [10].

(b) Birden fazla deplasman ölçerlerden alınan değerlerin ortalamaları makaslama deplasmanı (δ_s) ve dikey deplasman (δ_n) değerlerini verecektir. Yanal deplasman değerleri deney esnasında blokun davranışını anlamak için değerlendirmeye alınır. Ancak, makaslama yüzey temas alanı üzerinde bir korrelasyon yapılacağı zaman yanal deplasman değerleri de hesaplamalarda dikkate alınmalıdır.

(c) Makaslama gerilmesi ve dikey gerilme değerleri aşağıdaki eşitliklerden bulunur :

$$\text{Makaslama gerilmesi, } \tau = \frac{P_s}{A} = \frac{P_{sa} \cdot \cos \alpha}{A}$$

$$\text{Dikey gerilme, } \sigma_n = \frac{P_n}{A} = \frac{P_{na} + P_{sa} \cdot \sin \alpha}{A}$$

Bu eşitliklerde;

- P_s : düzleme etkiyen toplam makaslama kuvveti,
- P_n : düzleme etkiyen toplam dikey kuvvet,
- P_{sa} : uygulanan makaslama kuvveti,
- P_{na} : uygulanan dikey kuvvet,
- α : uygulanan makaslama kuvvetinin makaslama düzlemine göre açısı (eger $\alpha=0^\circ$ ise, $\cos \alpha = 1$ ve $\sin \alpha = 0$),
- A : makaslama düzleminin temas alanı (makaslama deplasmanının miktarına göre düzeltilmiştir).

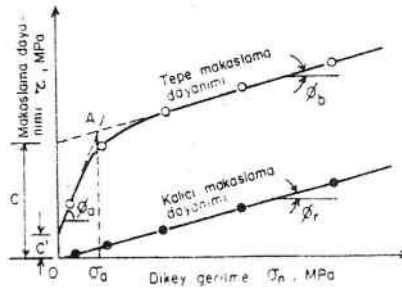
Eger α değeri sıfırdan büyük ise makaslama işlemi süresince düzleme dik yönde etkiyen yükün yaklaşık aynı değerlikte (sabit) olmasını sağlamak için uygulanan makaslama kuvvetindeki artışa göre uygulanan normal kuvvet değeri $P_{sa} \cdot \sin \alpha$ miktarı kadar azaltılmalıdır. Ayrıca, deney esnasında uygulanan dikey kuvvetin, makaslama düzleminde birim alana etkiyen değerini sabit tutabilmek için makaslama deplasmanındaki değişim miktarına göre, ki bu değişim makaslama düzlem alanının küçülmesi demektir, aşağıdaki eşitlikten elde edilecek değer kadar azaltılmalıdır.

$$\frac{\delta s \text{ (mm)} \cdot P_n}{700}$$

Dikkat ! Bu eşitlik 700*700 mm boyutundaki bir blok makaslama düzlemi için geçerlidir.

(d) Her bir deney örneği için makaslama deplasmanına karşı dikey deplasman ve makaslama dayanımı eğrileri (Şekil 5) çizilmelidir. Böylece tepe ve kalıcı makaslama dayanım değerleri normal gerilmenin, makaslama ve dikey deplasman değerlerinin fonksiyonu olarak bu eğrilerden bulunur [2].

(e) Dikey gerilmeye karşı tepe ve kalıcı makaslama dayanım değerlerine ait eğri bütün deneyler sonucunda elde edilecek sonuçlara göre çizilir. Böylece, deney ile ilgili olan σ_a , σ_b , σ_r , c ve c' değerleri Şeki 6'da görülen grafikten elde edilir.



Şekil 6. Makaslama dayanımı - dikey gerilme eğrileri

Şekil 6'da ;

ϕ_r : kalıcı sürtünme açısı,

ϕ_a : σ_a gerilim değerinin altındaki görünür sürtünme açısı; A noktası makaslama düzlemindeki birincil pürüzlülüklerin kırılması sonucunda oluşan, tepe makaslama dayanımı eğrisindeki dönüm noktasıdır. Koordinat merkezi ile A noktası arasında ϕ_a değeri değişir; bunun için, istenen normal gerilim seviyesine karşılık gelen ϕ_a değeri bulunur. Ayrıca aşağıdaki eşitliği not ediniz :

$$\phi_a = \phi_u + i$$



Burada ϕ_u kayacın aynı kayaç yüzeyi ile yaptığı sürtünme açısı ve i açısı makaslama düzlemindeki pürüzlülüklerin eğimidir.

- ϕ_b : σ_a (A noktası) gerilim değerinin üstündeki görünür sürtünme açısı; ϕ_b değerinin ϕ_r değerine yaklaşık eşit ya da çok az daha büyük olacağını not ediniz. ϕ_a değerinde olduğu gibi ϕ_b değeri de eğri üzerinde değişik noktalarda değişik değerler alabilmektedir. Bunun için, istenen dikey gerilme değerine karşılık gelen ϕ_b değerini alınız.
- c' : tepe makaslama eğrisinin eksende kestiği noktadaki kohezyon değeri; bu değer sıfır olabilir.
- c : ϕ_b ye karşılık gelen seviyede görünür kohezyon değeri.

5. SONUÇLARIN RAPORLANDIRILMASI

11. Deney sonunda hazırlanacak raporda şunlar yer almalıdır :

(a) Deney düzeneğinin bir şeması, fotoğrafları ve ayrıntılı açıklamalar ile deney örneğinin hazırlanmasında ve deneyin yapılmasında kullanılan yöntemlerin tanımlaması.

(b) Her bir deney örneği için ana kayanın tam bir jeolojik tanımı, makaslama düzleminin, dolgu malzemesinin ve makaslama düzleminde oluşan kırıntıların, tercihen indeks deney sonuçları (ör., pürüzlülük profilleri, Atterberg sınırları, su içeriği ve dolgu malzemesindeki tane büyüklüklerinin dağılımı) ile birlikte tanımlaması.

(c) Makaslama yapılan süreksizliklerin; lokasyonunu, boyutlarını, alanını, dalma yönü ve açılarını gösteren şemalar ile birlikte fotoğrafları verilmelidir. Ayrıca, blokların makaslama yönleri ve ayırıcı özellikleri verilmelidir.

(d) Her bir deney bloku için bir veri tablosu, bir konsolidasyon eğrisi ve makaslama deplasmanına karşı makaslama direnci ve dikey gerilme grafikleri (Şekiller 3,4 ve 5) verilmelidir. Grafiklerden elde edilen tepe ve kalıcı makaslama dayanımları bu değerlere karşılık gelen dikey gerilme, dikey deplasman ve makaslama deplasmanı değerleri ile birlikte bir tablo halinde verilmelidir.

(e) Makaslama dayanımı ile ilgili değişkenlerin elde edildiği, dikey gerilmeye karşı tepe ve kalıcı makaslama dayanımı grafiği (Şekil 6) çizilerek buradan elde edilecek değişkenlerin değerleri özet halinde raporda yer almalıdır.

BÖLÜM 2 : DİREKT MAKASLAMA DAYANIMININ LABORATUVARDA BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

1. AMAÇ

1.(a) Bu deneyin amacı, kayma düzleminin tepe ve kalıcı direkt makaslama dayanımlarını düzleme dik yönde etki eden gerilmelerin bir fonksiyonu olarak belirlemektir. Elde edilecek sonuçlar, genellikle, şev duraylılık problemlerinin denge sınırı analizlerinde veya baraj temellerinin duraylılık analizlerinde kullanılmaktadır [1-3].

(b) Deney örneğinin eğimi ve uygulanan yükler genellikle kayma düzlemini kayadaki bir zayıflık düzlemi (örneğin, bir eklem yüzeyi, tabakalanma düzlemi, şistosite veya klevaj, zemin-kaya/beton-kaya dokanak düzlemi) ile karşılaştıracak şekilde seçilir [4].

(c) Makaslama dayanımı, aynı düzlem üzerinde yer alan en az beş ayrı numunede ve her biri için farklı fakat sabit dikey gerilim uygulanarak yapılacak deneyler ile belirlenmelidir.

(d) Deney sonuçları uygulanırken, tasarım için boşluksuyu basıncı koşullarının ve ardışık yenilme olasılığının deney koşullarındakinden farklı olabileceği dikkate alınmalıdır.

2. DENEY DÜZENEGİ

2. deney örneğini almak için gerekli olan malzemeler :

(a) Numuneyi yerinde kesmek için; örneğin büyük çaplı karotiyer, darbeli matkaplar, kaya testereleri ya da çekiç ve murc, ayrıca süreksizliğin dalma açısını, dalma yönünü, pürüzlülüğünü ve diğer özelliklerini ölçmeye yarayan aletler.

(b) Deney numunesi alındıktan sonra dağılmasını sağlamak için örneğin: tel ya da metal bantlar.

(c) Numunenin kesilmesi ve laboratuvara taşınması esnasında olabilecek mekanik bozunmaları ve su içeriğindeki değişimleri önlemek için, örneğin koruyucu paket ve parafin ya da benzeri su geçirmez malzeme.

3. Numuneyi deneye hazırlamak için gereken malzemeler :

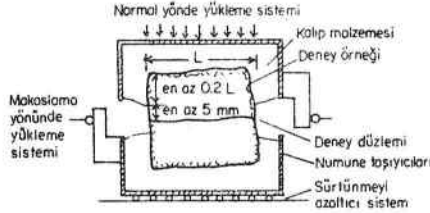
(a) Deney makinasının sökülebilir bir parçasını oluşturan numune mesnetleri.

(b) Numuneyi kalıba almak için çimento, alçı, reçine ya da benzeri malzeme ve uygun karıştırma kapları.

4. Deney makinası (Ör., Makaslama Kutusu, Şekil 7) şu özelliklere sahip olmalıdır :

(a) Deney yapılacak düzlem üzerine dik yönde, düzgün kuvvet uygulamak için hidrolik, havalı ya da ölü yüklü bir sistem. Kuvvet vektörü makaslama düzlemine dik yönde ve düzlem alanının ortasından

gececek şekilde uygulanmalıdır. Dik yönde yük uygulamak için kullanılan düzeneğin numune olabilecek açılma ya da daralma hareketini karşılayabilecek esneklikte ve deney boyunca belirlenen yük miktarının %2'si kadarlık bir hata ile kuvvet uygulayabilecek hassasiyette olmalıdır.



Şekil 7. Laboratuvar için direkt makaslama deneyi düzeneği

(b) Makaslama kuvveti uygulamak için hidrolik manivela ya da mekanik dişli sistem kullanılabilir. Dik yönde olduğu gibi makaslama yönünde de kuvvetin düzgün dağılımlı olmasına ve kuvvet vektörünün makaslama düzlemi içerisinde kalmasına dikkat edilmelidir. Deney kutusu, makaslama yönünde numune çapının %10'undan daha büyük bir miktarda hareket ettirilebilecek özelliğe sahip olmalıdır. Deney kutusu üzerine amaca uygun yerleştirilecek rulman, çelik halat ya da düşük sürtünme katsayısına sahip parçaların makaslama yönündeki deplasmana karşı oluşturacağı sürtünme kuvveti uygulanan en yüksek makaslama kuvvetinin %1'inden büyük olmamalıdır.

(c) Dikey ve makaslama yönlerinde uygulanan kuvvetleri ölçmek için ayrı ayrı kullanılacak kuvvet-ölçerlerin deneyde ulaşılan en yüksek değerin ± 2 'sinden daha iyi bir okuma yapabilecek hassasiyette olmalıdır. Deney sonuçlarının değerlendirilmesi aşamasında kullanılmak üzere bu kuvvet-ölçerlere ait en son kalibrasyon değerleri raporda yer almalıdır.

(d) Dikey, makaslama ve yanal deplasmanları ölçmek için mekanik deplasman ölçerler (komparatörler) veya elektrikli transdüktörler kullanılır. Bunlar Şekil 2'deki gibi yerleştirilebilir, ya da dik yönde dört adet yerine tam merkezde bir adet ölçer kullanılabilir. Makaslama yönünde numune boyutunun %10'undan daha büyük bir deplasmanın olacağı bilinmeli ve bu ölçerlerin 0.1 mm.den daha iyi hassasiyetlerinin olmasına dikkat edilmelidir. Dikey ve yanal yönde 20 mm.den daha büyük deplasmanların olabileceği dikkate alınmalı ve kullanılacak ölçerlerin hassasiyetleri 0.05 mm.den daha iyi olmalıdır. Ölçerlerin deney esnasında yeniden ayarlanmasından kaçınılmalıdır. Elektrikli transdüktörler ya da otomatik kayıt sistemi kullanılıyor ise bunlara ait en son kalibrasyon değerleri rapora eklenmelidir.

3.DENEY YÖNTEMİ

5. Hazırlık :

(a) Deneyin yapılacağı kayma düzlemi belirlendikten sonra dalım

açısı, dalma yönü ve diğer jeolojik özellikler kaydedilir. Kayma düzlemi içeren blok ya da karot halindeki numuneler zarar verilmeden, hatta mümkün ise doğal su içerikleri korunarak alınmalıdır. Örneklerin boyutları ve makaslama yapılacak düzlemin blok ya da karot içindeki konumu mümkün olduğunca laboratuvarında tekrar bir düzeltmeye gerek kalmadan deneye tabi tutulabilecek biçimde alınmalı ve deney makinasına uygun kalıba alınabilmesi için yeterli açıklığa sahip olmalıdır [8]. Düzlem, tercihen, en az 2500 mm² lik bir alana sahip kare biçiminde olmalıdır. Düzlemin mekanik özelliği, numune tel ya da bant ile sıkıca sarılarak deney öncesine kadar muhafaza edilmelidir.

(b) Deney amacıyla hemen kalıba alınamayan numunelerin laboratuvara nakledilmeleri için yüzeyleri suya karşı uygun biçimde kaplanarak numara verilmeli ve iyice paketlenmelidir. Kırılgan numuneler için özel paket yapılmalıdır. Örneğin, poliüretan köpük içine koymak gibi. (Stimpson, B., Metcalfe, F.G., and Walton, G., 1970, Q.J.Engng.Geol. 3, No.2, p.127).

(c) Numuneyi beton kalıba almak için önce bir yarısı üzerindeki koruyucu madde alınmalı ve makaslama düzleminin deney için uygun konumda olduğuna emin olunduktan sonra beton harç dökülmelidir. Belli bir prizlenme süresinden sonra aynı işlem diğer yarısı için tekrarlanmalıdır. Numunenin her iki yarısında en az 5 mm.lik bir kısmın beton kalıp dışında kalmasına dikkat edilmelidir.

6. Konsolidasyon (Pekiştirme) :

(a) Deney öncesi konsolidasyon işleminde kayadaki ve makaslama düzlemine bitişik dolgu malzemesindeki boşluk suyu basıncı yüksek dikey gerilim uygulanarak ortamdan uzaklaştırılır (Bkz. paragraf 7(e)).

(b) Numune makaslama kutusuna konulduktan sonra bütün ölçerler kontrol edilerek ilk seri yük ve deplasman değerleri kaydedilir.

(c) Dikey yük o deney için belirlenen nihayi değerine yükseltilirken oluşacak dikey deplasman (pekiştirme) değerleri zaman ve uygulanan yükün fonksiyonu olarak kaydedilir (Şekiller 3 ve 4).

(d) Dikey yöndeki deplasman ölçerlerdeki değişim miktarı 10 dakika içerisinde 0.05 mm.den daha az olduğu zaman pekiştirme aşamasının tamamlandığı kabul edilebilir. Bu belirlemeden sonra makaslama işlemi başlatılır.

7. Makaslama :

(a) Makaslama işleminin amacı kayma düzlemine ait tepe ve kalıcı makaslama dayanım değerlerini bulmaktır [2].

(b) Makaslama yükü aralıklarla artırılarak uygulanabilse de genellikle makaslama yönündeki deplasman hızı kontrol edilerek sürekli olarak uygulanması tercih edilmektedir.

(c) Tepe dayanım değerine ulaşına kadar 10 okuma kaydedilmelidir

(Şekiller 3 ve 5). Makaslama deplasmanının hızı okuma değerleri arasındaki 10 dakikalık süre içinde 0.1 mm/dakika boyutunda tutulmalıdır. Bu hız en yüksek (tepe) makaslama dayanımının yeterli olarak kaydedilmesi şartı ile, seri okumalar arasında 0.5 mm/dakika'ya kadar artırılabilir. Drenajlı yapılan deneylerde ve özellikle kil dolgu süreksizliklerin deneyinde, en yüksek dayanıma ulaşmak için geçen toplam zaman, pekiştirme eğrisinden elde edilen (bkz. Paragraf 8(a) ve Şekil 4) $6 \cdot t_{100}$ değerini aşmalıdır. Gerekirse, bu değeri yakalamak için makaslama hızı düşürülebilir.

(d) Tepe dayanım değerine ulaştıktan sonra, uygun bir yük-deplasman eğrisi elde edebilmek için okumalar 0.5 mm'lik makaslama deplasmanı aralıklarıyla 5 mm'ye kadar yapılmalıdır (Şekil 5). Makaslama deplasmanındaki artış hızı 10 dakika süre için 0.02-0.2 mm/dakika olmalıdır. İstendiğinde bu değer seri okumalar arasında en fazla 1 mm/dakikaya çıkarılabilir.

(e) Kalıcı makaslama dayanımını bulmak için sabit dikey gerilim altında makaslama kuvvetinin uygulanmasına devam edilerek en az dört seri okuma yapılmalı ve bu aşamada uygulanan makaslama kuvvetindeki değişim miktarının 1 cm'lik makaslama deplasmanı için %5'ten fazla olmadığına dikkat edilmelidir [11].

(f) Kalıcı bir dayanım değerine ulaştıktan sonra ek değerler almak için dikey gerilim artırılarak ya da azaltılarak makaslama işlemine devam edilir [12]. Deney örneği farklı dikey gerilim uygulamaları için tekrar konsolidasyon işlemine tabi tutulmalıdır (bak. paragraf 8(d)) ve makaslama işlemi yukarıda, paragraflar 9(c)-9(e)'de açıklandığı gibi tekrarlanmalıdır.

(g) Deney sonrası makaslama düzlemi açılır ve ilgili bütün tanımlamalar yapılır (bak. Paragraf 9). Makaslama düzleminin alanı ölçüldükten sonra, gerekir ise, bir de fotoğrafı alınır. İndeks deneyleri için kayadan, dolgu malzemesinden ve oluşan kırıntılardan örnekler alınır.

4. HESAPLAMALAR

8.(a) Deneyin konsolidasyon aşaması için bir konsolidasyon eğrisi (Şekil 4) çizilir. "İlk Konsolidasyon" aşaması için t_{100} zaman değeri şekilde görüldüğü gibi eğriye teğet çizilerek hesaplanır. Boşluk su basıncı etkisinin ihmal edilebilmesi için makaslama kuvvetinin uygulandığı andan tepe dayanım değerine erişene kadar $6 \cdot t_{100}$ değerinden daha uzun bir sürenin geçmesi gerekmektedir [10].

(b) Makaslama (δs) ve dikey (δn) deplasman değerleri okumaların ortalaması alınarak bulunur. Yanal deplasman değerleri numunenin deney esnasındaki davranışını tayin etmek için kullanılır. Ancak, makaslama yüzey temas alanı üzerinde bir korrelasyon yapılacağı zaman yanal deplasman değerleri de hesaplamalarda dikkate alınmalıdır.

(c) Kayma düzleminin makaslama ve dikey gerilmeleri aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır :

Makaslama gerilmesi, $\tau = P_n / A$

Dikey gerilme, $\sigma_n = P_s / A$

Bu eşitliklerde ;

P_n : toplam dikey yük,

P_s : toplam makaslama yükü,

A : makaslama yapılan düzlemin alanı (makaslama deplasmanının fonksiyonu olarak düzeltilmiştir).

(d) Her deney numunesi için makaslama gerilmesine karşı dikey deplasmana ve makaslama deplasmanı eğrileri çizilir (Şekil 5); nominal dikey gerilme ve deney esnasında dikey gerilmedeki değişimler gösterilir. Tepe ve kalıcı makaslama gerilmeleri bu değerlere karşılık gelen dikey gerilme, dikey deplasman ve makaslama deplasmanı değerleri ile birlikte bu eğrilerden elde edilirler [2].

(e) Tepe ve kalıcı makaslama dayanımlarına karşı dikey gerilme eğrileri bütün deneylerin sonuçları birleştirilerek çizilir. Bu eğriden deney ile ilgili olan σ_a , σ_b , σ_r , c' ve c değişkenleri Şekil 6 da görüldüğü gibi bulunur.

5. SONUÇLARIN RAPORLANDIRILMASI

9. Deneyler sonucunda hazırlanacak raporda şunlar yer almalıdır :

(a) Deneyde kullanılan makinanın tanımı ve bir şeması. Ayrıca deney numunelerinin nasıl alındığını, paketlenildiğini, taşındığını, saklandığını, deney makinasına yerleştirildiğini ve deneyi yapıldığını açıklayan bir bölüm.

(b) Her deney numunesi için ana kayacın, makaslama yapılan düzlemin, dolgu ve ufalanmış malzemenin, eğer mümkün ise ilgili indeks deney bulguları eklenerek (ör., yüzey eğrilik profilleri, Atterberg sınır değerleri, su içeriği ve dolgu malzemesinin tane büyüklüğü dağılımı), tam bir jeolojik tanımlaması.

(c) Örneklemeye yapılan bölge, deneyin uygulandığı süreksizliğin dalım açısı ve yönü, şemalar ve hatta mümkün ise fotoğraflar ile verilmelidir. Ayrıca, deney örneklerinin boyutları ve varsa belirgin özellikleri yer almalıdır.

(d) Her bir deney numunesi için deney sonuçlarının yer aldığı çizelgeler, konsolidasyon eğrileri, makaslama gerilmesi ve dikey deplasmana karşı makaslama deplasmanı eğrileri (Şekiller 3,4 ve 5). Bu eğrilerden elde edilen tepe ve kalıcı makaslama dayanımı değerleri dikey gerilme, makaslama ve dikey yöndeki deplasmanlar ile birlikte çizelge halinde yer almalıdır.

(e) Bir bütün halinde, tepe ve kalıcı makaslama dayanımı değerlerine karşı dikey gerilme eğrileri ve çizelgeleri, deney ile ilgili değişkenler (Şekil 6) ile birlikte raporda yer almalıdır.

BÖLÜM 3. MAKASLAMA DAYANIMININ BURMA (torsional) DENEYİ İLE YERİNDE (in-situ) BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

1. AMAÇ

1.(a) Bu deneyin amacı, karot biçiminde oluşturulan ve bir zayıflık düzlemi üzerinde bulunan kaya göbeğini(test core) döndürerek (torsion) süreksizliğin makaslama dayanımını bulmaktır.

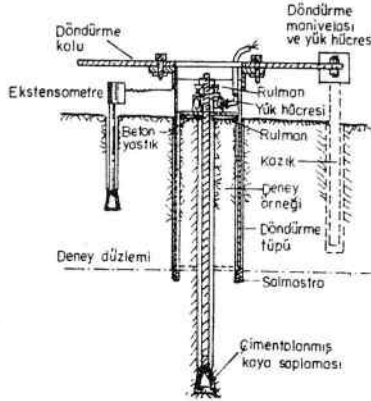
(b) Bu deneyden elde edilecek sonuçlar daha önceki sayfalarda anlatılan diğer makaslama deney yöntemleri sonuçları ile bir yaklaşım yapmak amacı ile kullanılır [13].

2. DENEY DÜZENEGİ

2.Delme işleminde kullanılacak makina için :

(a) Elmas uçlu, karotiyerli delici; kayacın cinsine uygun sulu ya da havalı temizleme sistemi; yaklaşık 50 mm ve 300 mm çaplarında, gerekli derinliğe (genellikle 0.5-3 m) ulaşabilecek kapasiteye sahip bir delme makinası.

3. Dikey yük uygulamak ve ölçmek için (Şekil 8) kullanılacak ekipman :



Şekil 8. Bükerek makaslama deneyi düzeni

(a) Düşünülen kaya göbeği uzunluğundan 1 m daha uzun bir kaya saplaması.

(b) Deneyin uygulanacağı kaya göbeğinin çapına eşit büyüklükte bir taşıyıcı levha(bearing plate). Bu levhanın ortası kaya saplamasının rahat geçebileceği şekilde delik olmalıdır.

(c) Gerilmeyi ± 2 hassasiyet ile ölçebilecek bir yük hücresi.

(d) Kaya saplamasından gelecek burma kuvvetinin kaya göbeğini etkilememesini sağlamak için kaya saplaması ve yük hücresi ile merkezi olacak şekilde bir rulman.

4. Döndürme kuvvetini(torque) uygulamak ve ölçmek için (Şekil 8) :

(a) Döndürmeyi sağlamak için, deneyi yapılacak kaya göbeğinin dışını kaplayacak silindirik biçimli bir burma tüpü. Boru biçimindeki bu tüpün, deney için hazırlanan kaya göbeğinin etrafındaki halka şeklindeki boşluğa geçirildiğinde dış tarafında 3 mm.den az olmayacak ve iç tarafında da kaya ile tüp yüzeyi arasına çimentolama yapılabilecek büyüklükte bir açıklık kalacak şekilde, iç ve dış çapları ayarlanmalıdır.

(b) Burma tüpünün çapı boyunca ve kaya göbeği eksenine dik olarak sağlam bir biçimde tespit edilmiş bir burma kolu olmalıdır. Bu kol her iki yönde eşit şekilde hareket ettirilebilmelidir.

(c) Kaya göbeğine teğet yönde, burma koluna aynı büyüklükte yük uygulayabilmek için, bir hidrolik pompaya bağlı iki adet, birbirinin benzeri hidrolik manivelalar. Bu manivelalar kaya göbeğinin merkezinden eşit uzaklıklarda, çapraz yönlerde, kaya saplamaları ile sağlam tespit edilmelidir. Ayrıca, bu manivelalara bağlı, uygulanan yükü ± 2 hassasiyet ile okuyabilecek yük hücreleri olmalıdır.

5. Burma tüpünün dönme miktarını belirlemek için sabit olarak tespit edilmiş ve burma tüpüne bağlanmış bir mekanik deplasman ölçme cihazı. Bu sistem, dönme miktarını ± 0.001 radyan hassasiyet ile ve toplam 0.1 radyanlık bir burulmayı ölçebilecek kapasitede olmalıdır.

3. DENEYİN YAPILMASI

6. Hazırlık :

(a) Deneyi yapılacak kayma düzleminin, genellikle, 0.5-3 m yukarısında, yüzeyde, düz ve düzleme paralel bir yüzey oluşturulur. Deneyi yapılacak düzlem; bir eklem, tabakalaşma düzlemi veya şistozite, veya beton-kaya dokanak düzlemi olabilir.

(b) Deney düzlemine dik yönde ve en az düzlemin 1 m altına kadar küçük çaplı (ör. 50 mm) bir delik delinir. Bu delme işlemi sırasında elde edilecek örnekler kayac hakkında bilgi edinmek amacıyla kullanılabilir. Daha sonra delik derinliği ± 10 mm hassasiyet ile ölçülür. Bunlara ilaveten burma manivelalarını ve dönme açısını ölçmek için kullanılacak aletleri tespit etmek için etrafında bir kaç tane daha delik delinir.

(c) Dikey yönde yükleme yapmak için kullanılacak kaya saplaması çimentolanarak tespit edilir. Yük taşıyıcı levha bu saplamanın üzerine yerleştirilir. Ayrıca yük hücresi ve baskı plakası uygun bir biçimde yerleştirildikten sonra deneyi yapılacak kaya göbeğinin (test core) delme işlemi esnasında dönmesini önlemek için sisteme düşey yük uygulanır.

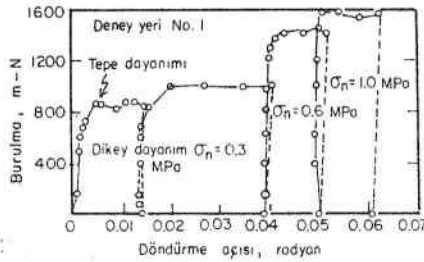
(d) Kaya içinde oluşturulacak deney göbeği makaslama düzleminin $20 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ altına kadar etrafından delinerek oluşturulur. Bu aşamada kullanılacak delme yöntemi ve sıvısı deney göbeğine zarar vermeyecek şekilde seçilir.

(e) Kaya göbeğini çevreleyen silindirik biçimli çevresel boşluk temizlenir ve tabandan itibaren makaslama düzleminin 5-10 mm üstüne kadar zayıf bir malzeme (ör. plastik conta) ile doldurulur. Burma tüpünün yüzeyi dışarda gres ile yağlandıktan sonra deney göbeğinin etrafına gömlek şeklinde geçirilir ve reçine ya da çimento kullanılarak kaya göbeğine kaynaması sağlanır. Çimentonun prizlenmesi beklenirken sistemin diğer bağlantıları yapılır ve kontrol edilir.

7. Deneyin yapılması :

(a) Deney öncesinde tespit edilen dikey yük merkezdeki kaya saplaması üzerindeki vidalı sistem sıkılarak uygulanır.

(b) Döndürme yönünde kuvvet yavaş yavaş artırılarak uygulanmaya geçildiğinde deney göbeğinin dönme miktarı, döndürme gücü (torque) ve normal yük hücrelerinden değerler okunarak kaydedilir (ör. Şekil 9). Döndürme gücü düzlemin tepe dayanımına erişmeden önce 5-10 seri okuma yapılabilecek şekilde uygulanmalıdır [2].



Şekil 9. Bükerek makaslama deneyinde Burulma - Dönme açısı eğrisi.

(c) Her 0.05 radyanlık bir dönme miktarı oluştuğunda değerler okunarak döndürme gücünün uygulanmasına devam edilir (bak. Şekil 9). Bu işlem ardışık dört seri okumada değerler arasındaki değişim miktarı %5'in altına düşene kadar sürdürülür.

(d) Bu aşamada son bir seri okuma yapılarak döndürme gücünün uygulanması durdurulur. Deney göbeği üzerine uygulanan dikey yükün miktarı değiştirilerek yukarıda 7(a)-7(c)'de yapılan işlemler bir ya da bir kaç kez daha tekrarlanabilir.

(e) Bu işlemler bittikten sonra deney göbeği çıkartılarak makaslama yapılan düzlem incelenir ve gerekli notlar alınır. Ayrıca indeks deneyleri için kayaktan, dolgu malzemesinden ve makaslama sonucu oluşan kırıntılardan örnekler alınır.

4. HESAPLAMALAR

8.(a) Sisteme uygulanan dönme gücü (N-m), yük hücrelerinin kalibrasyon eğrilerinden elde edilecek yükler (kN) ile döndürme kolu uzunluklarının (mm) çarpılması ile bulunur. Toplam dönme gücü iki yandaki kollar için hesaplanacak dönme güçlerinin toplamına eşit olur.

(b) Yük hücrelerinin kalibrasyon eğrilerinden elde edilecek dikey yükler aşağıdaki eşitlikten dikey gerilmeye, σ_n , çevrilir:

$$\sigma_n = \frac{4P_n}{\pi (D^2 - d^2)}$$

Bu eşitlikte ;

- P_n : uygulanan dikey kuvvet,
 D : deney göbeğinin dış çapı,
 d : deney göbeğinin iç çapı.

(c) Dönme gücü-deplasman eğrisi (Şekil 9, notlar 2 ve 3) üzerindeki tepe ve kalıcı kısımlara karşılık gelen makaslama dayanımı, τ , değeri aşağıdaki varsayımlardan birine göre yapılır :

- (i) Sağlam, elastik kayalarda deney göbeğinin dış yüzeyinde en yüksek gerilimin oluşacağı varsayılacak olursa,

$$\tau = 0.5 T D / J$$

- (ii) Zayıf kayalarda, makaslama düzlemi çevresinde sabit bir teğetsel gerilim (tangential stress) oluşacağı varsayılacak olursa

$$\tau = 0.365 T D / J$$

Bu eşitliklerde $J = \pi (D^4 - d^4) / 32$ alınmalıdır.

İkinci varsayımın kalıcı makaslama dayanımının hesaplanması için her zaman kullanılabileceği, tepe makaslama dayanımı için zaman zaman kullanılabileceği tavsiye edilmektedir.

(d) Tepe ve kalıcı makaslama dayanımlarına karşı dikey gerilim eğrileri bütün deney sonuçları dikkate alınarak çizilir. Bu deney ile ilgili değişkenler Şekil 6'da görüldüğü gibi elde edilebilir.

5. SONUÇLARIN RAPORLANDIRILMASI

9. Deneyler sonucunda hazırlanacak raporda şunlar yer almalıdır :

(a) Delme ve deney için kullanılan yöntem ve malzemelerin ayrıntılı tanımı ve bir şeması.

(b) Her bir deney için deney düzleminin tam olarak Jeolojik tanımlaması, dolgu malzemesi ve makaslama oluşmuş ufalanmış malzemenin, eğer mümkün ise indeks değerleri ile birlikte, tanımlaması.

(c) Deneyi yapılan kayma düzleminin yeri, dalma açısı ve yönü ile birlikte bazı fotoğraflar, deney göbeğinin iç ve dış çapları ile herhangi bir ayırtedici özelliği.

(d) Her bir deney için hazırlanan veri çizelgeleri, dönme açısına karşı makaslama gerilmesi ve dikey gerilme eğrileri.

(e) Makaslama dayanımını hesaplamak için dikey gerilmeye karşı tepe ve kalıcı makaslama dayanımı değerleri ve eğrileri makaslama değişkenleri ile birlikte (bak. Şekil 6) verilmelidir.

NOTLAR

1. Eğer deneyi yapılacak yüzey pürüzsüz ve düz ise ve numune yerinden bozulmayacak biçimde kesilebilir ve nakledilebilir ise bu durumda direkt makaslama dayanımı laboratuvar deneyi ile tespit edilebilir (Bölüm 2'de açıklanan yöntem ile).

2. Tanımlar (Şekiller 5 ve 6'da görülmektedir) :

Tepe makaslama dayanımı- Makaslama gerilimi-deplasman eğrisi üzerinde en yüksek makaslama gerilim değeri.

Kalıcı makaslama dayanımı- Artan makaslama deplasmanına karşı değişmeyen makaslama geriliminin görüldüğü nokta. Süreksizlik düzleminin gerçek kalıcı makaslama dayanımına deneyde ulaşılabilen makaslama deplasmanının ötesinde daha uzun mesafeli bir deplasman seviyesinde ulaşılabilir. Bu nedenle deney sonucunda elde edilen değer yaklaşık değer olarak kabul edilmeli ve makaslama gerilimi-deplasman eğrisinin tümü dikkate alınarak değerlendirilmelidir.

Makaslama dayanımı değişkenleri c ve ϕ - Şekil 6'da görüldüğü gibi makaslama dayanımı-dikey gerilim eğrisi üzerinde tasarıma uygun dikey gerilim değerine karşılık gelen noktadan çizilecek teğetin makaslama dayanım eğrisini kestiği nokta ve bu teğet doğrusunun eğimi.

3. Deneyler sonucunda elde edilen tepe makaslama dayanım değeri ancak numunede görülen yüzey pürüzlülüğü ile arazide, süreksizlik düzleminde, büyük ölçekte görülen pürüzlülük aynı özellikleri gösteriyor ise duraylılık problemlerine direkt olarak uygulanabilir. Eğer durum farklı ise gerçek tepe dayanım değeri deney sonucunda elde edilen değerden hesaplanarak bulunur (Kaynak ; Patton, F.D., 1966, Proc. 1st Int.Cong.Rock Mech. ISRM, Lisbon, Vol.1,pp.509-512; Ladanyi, B. and Archambault, G., 1970, In Rock mechanics- Theory and Practice (W.H. Somerton, ed.), AIME, New York, pp.105-125; Barton, N.R., 1971, Proc. Symp.ISRM, Nancy, Paper 1-8).

4. Sağlam kayada (zayıflık düzlemleri bulunmayan) deneyler laboratuvar da üç eksenli olarak yapılır. Bu nedenle, sadece, eğer ana kaya zayıf olduğu ya da deney örneği yeterince sağlam bir kalıp içine konulabildiği zaman direkt makaslama deneyi yapılabilir.

5. Dikey yük uygulamak için eğer ölü yük kullanılır ise yükün numune üzerine merkezi olarak etkidiğine emin olmak gerekir. Eğer dikey ya da makaslama yönlerinde yükleme yapmak için iki ya da daha

fazla hidrolik pompalar kullanılacak ise bunların aynı özelliklere sahip ve yük uygulama doğrultularının birbirine paralel olduklarına dikkat edilmelidir. Kullanılan hidrolik pompaların ve yassıverenlerin hareket mesafesi deney esnasında numune beklenen deplasman miktarını karşılayabilecek kapasitelerde olmalıdır. Dikey deplasman yönünde, makaslama yapılacak düzlem içindeki kil muhtevasına ve yüzey pürüzlülüğüne bağlı olarak $\pm 5-10$ mm civarında bir deplasman beklenebilir.

6. Uygulanan makaslama kuvveti makaslama düzlemi ile $\alpha = 0$ derecelik bir açı (Şekil 1) yapacak biçimde etkiyebilir. Bu durum yükü makaslama pompalarından numune üzerine aktarmak için uygun bir taşıyıcı dirsek sisteminin kurulmasını gerektirebilir. Eğer herhangi bir neden ile uygulanan makaslama kuvvetinin vektörel doğrultusu makaslama düzleminin üstüne, istenmeyen kısmına etki ediyor ise bu durumda makaslama yönündeki pompanın eğimi değiştirilerek kuvvet vektörü doğrultusunun düzlemin ortasından geçmesi sağlanır. $700 \times 700 \times 350$ mm boyutlarındaki bir numune için α açısı yaklaşık 15° olmalıdır. Dikey ve makaslama yönlerindeki kuvvetleri uygulamak için tek bir hidrolik pompanın kullanılmasından kaçınılmalıdır, çünkü bu durumda dikey ve makaslama gerilmelerini kontrol etmek mümkün değildir.

7. Deney bloğunun etrafını kaplayan çimento malzemesinin yüzeyleri mikrometrik kadranlı deplasman ölçerler için yeterince düz değil ise bu kısımlara cam levhalar konulabilir. Bunların boyutları seçilirken numune oluşacak deplasmanlar dikkate alınmalıdır. Deplasmanları ölçmek için ön gerdirmeli tel ve makaradan oluşan ve mekanik ölçere bağlı olan bir sistem kullanılabilir. Önemli olan, hangi sistem kullanılır ise kullanılsın, bunun güvenilir ve istenen hassasiyette olduğuna emin olmaktır. Eğer bu amaç için elektrikli transdüktörler ya da otomatik kaydediciler kullanılır ise bunlar için ayrı bir hassasiyet göstermek gerekir.

8. Yerinde makaslama deneyleri için $700 \times 700 \times 350$ mm boyutlarında bir deney bloku standardı önerilmektedir. Eğer deneyi yapılacak düzlemin yüzeyi göreceli olarak düz ise daha küçük boyutta bir blok, yüzey çok pürüzlü ise daha büyük boyutta bir blok üzerinde deneyin yapılması uygun olabilir. Deney bloğunun boyutları seçildiğinde eğer yan yüzeyleri doğal eklemler ile ya da damarlar ile kesiliyor ise bu bloğun hazırlanmasında bir avantaj sağlar ve darbelerden etkilenmesini azaltır. Bloğun çevresine yapılacak beton kalıbın kalınlığını etkileyecek türden pürüzlülükler var ise bunlar önceden alınır.

9. Eğer deneyi yapılacak süreksizlik düzleminin eğimi $10-20^\circ$ den fazla ise, bu durumda, bloğun yan yüzeylerinin kesilmesi esnasında bloğun hareket etmemesi, gevşeme ya da kabarma yapmaması için üzerine belli bir miktar dikey kuvvet uygulanır. Bu yük deney aşamasında uygulanacak miktarın $\%5-10$ seviyesinde olabilir ve bu ölü yük blok deneye hazır edilene kadar tutulur.

10. Tepe dayanım noktasına erişene kadar geçen toplam süre $6 \times t_{100}$ değerinden daha büyük olmalıdır. Bu süre içinde, olabilecek boşluk su basıncının $\%90$ oranında çekildiği kabul edilmektedir (Gibson and Henkel, Geotechnique 4, pp.10-11, 1954). Bu durumun sağlanması, eğer killi bir dolgu var ise daha önemli olmaktadır. Diğer durumlarda t_{100}

değerini hassasiyetle tayin etmek zordur. Çünkü deney esnasında gözlenen "Pekiştirme (konsolidasyon)" miktarının bir kısmı kayacın kendinden kaynaklanan sünme ya da boşluk basıncı dışında bir nedenden dolayı oluşabilir.

11. Ayrıca aynı kayaç örneğinden hazırlanacak düz yüzeyler üzerinde yapılacak deneyler ile kalıcı, sürtünme açısı bulunarak diğer bulgular ile karşılaştırılmalıdır. Bunun için numune elmaslı testere ile kesildikten sonra yüzeyi no.80 silikon karbit zımparası ile parlatılmalıdır.

12. Mümkün olduğu durumlarda dikey yük belli oranlarda artırılarak uygulanmalıdır. Farklı normal yük uygulamaları için numunenin makaslama yönüne ters yönde hareket ettirilmesi yüzey üzerinde istenmeyen bozulmalara neden olacağı ve sonraki bulguları etkileyeceği için önerilmemektedir. Bunun yerine, daha zaman alıcı ve pahalı olmasına rağmen, her bir farklı dikey yük seviyesi için yeni bir numune kullanılması önerilmektedir.

13. Burma yöntemi ile makaslama deneyi hem daha ekonomik hem de numunenin hazırlanması sırasında yüzeye daha az zarar verileceği için sonuçlar açısından daha sağlıklıdır. Ancak, bu deney, düzensiz bir pürüzlülük içeren süreksizliklerin makaslama dayanımının bulunmasında kullanılmamaktadır. Ayrıca, dikey deplasmanın ve konsolidasyonun vidalı sıkıştırma sistemi yerine elektrikli bir sistem ile sağlanmasında bir sakınca yoktur.

**SU İÇERİĞİ, GÖZENEKLİLİK, YOĞUNLUK, EMME VE İLGİLİ
ÖZELLİKLERİN BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEMLER #**

Çeviren : İbrahim SEL *

NOTLAR

(i) Gözeneklilik ve Yoğunluk Verilerinin Mekanik Önemi.

Kaya malzemesinde gözeneklerin bulunması, dayanımı düşürür ve bozulabilirliği artırır. Çok küçük gözenek oranının hissedilir mekanik etkisi olabilir.

Kayaç malzemesinin gözenekli yapısı hakkındaki bilgiler genellikle petrolojik tanımlamalarda bulunmamakta, ancak bu tanımlamalar mekanik performans için kılavuz olarak kullanılacaksa gerekmektedir. Özellikle kumtaşları ve karbonat kayaçlar çok geniş gözeneklilik aralığına sahip olduklarından çok farklı mekanik davranış gösterebilirler. Aşınmaya maruz kalmış volkanik kayaçlarda da gözeneklilik yüksektir.

Bir çok kayacın tane yoğunlukları benzer olup gözeneklilik ve kuru yoğunluk değerleri oldukça uyumludur. (Bakınız not (v) eşitlik 4). Düşük yoğunluklu kayaçlar genellikle çok gözeneklidir. Sonuç olarak, yalnızca gözeneklilik değerlerinin verilmesi yoğunlukla yeterlidir. Ancak tam bir tanımlama için yoğunluk ve gözeneklilik değerleri beraberce gerekir.

Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, Editor : E.T. Brown, 1981, pp.81-89, Pergamon Press.

* Maden Y.Müh., ODTÜ Maden Müh. Böl., ANKARA

Mineral taneciklerin hacimsel içeriğin belirlemek için kullanılan mikroskobik teknikler hacimsel gözenek içeriği hakkında yeterince bilgi vermediğinden deneysel çalışmalar gerekir. Bununla beraber, mikroskopi ve civa enjeksiyonu ve geçirgenlik tespiti gibi teknikler gözenek büyüklüğü ve şekli hakkında tamamlayıcı bilgiler sağlayabilirler.

(ii) Kayaç Örneğinin Yapısı,

Test için kullanılacak temsili örnek, her biri en büyük tanecik veya gözenek büyüklüğünden daha büyük olan bir kaç kayaç parçasından oluşmalıdır. Kayaçtakilere benzer büyüklükteki mikro çatlaklar hatalı sonuçlara neden olurlar; Bunların varlığı belirlenmeli ve mümkünse bunları dahil veya hariç tutmak için parça boyu büyütülmeli veya küçültülmelidir.

Deneysel hatanın etkisini azaltmak için örnek mümkün olduğunca büyük olmalıdır. Değişik şekillerdeki örneklerle göre adlandırılan alternatif deney yöntemleri vardır; Bunların arasından yapılacak seçim denenecek kayacın yapısını temel almalıdır.

(iii) Kayaç İçerikleri

Gözeneklilik veya yoğunluk gibi fiziksel özelliklerin hesaplanmasında kayaç içeriklerinin kütleleri ve hacimleri aşağıdaki terim ve sembollerle gösterilecektir.

Tanecikler (örneğin katı bileşeni), kütle M_s , hacim V_s

Gözenek suyu, kütle M_w ve hacim V_w

Gözenek havası, sıfır kütle ve hacim V_a

Gözenekler (boşluklar), hacimli $V_v = V_w + V_a$

Kütle örnek kütle $M = M_s + M_w$

Kütle numune hacmi $V = V_s + V_w$

Su yoğunluğu ρ_w = birim hacimdeki su kütlesi,

(iv) Tanımlar, Terminoloji ve Tercih Edilen SI Birimleri

Birazdan anlatılacak test yöntemleriyle ilgili fiziksel özellikler yukarıda verilen kayaç örnek içeriklerine göre tanımlanabilirler.

Su içeriği w	$= \frac{M_w}{M_s} \times 100$	(%)
Doyurma derecesi S_r	$= \frac{V_w}{V_v} \times 100$	(%)
Gözeneklilik n	$= \frac{V_v}{V} \times 100$	(%)
Boşluk oranı n	$= \frac{V_v}{V_s}$	(-)
Yoğunluk = kitle yoğunluğu ρ (kütle yoğunluğu)	$= \frac{M}{V} = \frac{M_s + M_v}{V}$	$\frac{(kg)}{(m^3)}$
Göreceli yoğunluk d (özgül ağırlık)	$= \frac{\rho}{\rho_w} \times 100$	(-)
Kuru yoğunluk ρ_d	$= \frac{M_s}{V}$	$\frac{(kg)}{(m^3)}$
Kuru göreceli yoğunluk d_d (özgül ağırlık)	$= \frac{\rho_d}{\rho_w}$	(-)
Doyurulmuş yoğunluk ρ_{sat}	$= \frac{M_s + V_v \rho_w}{V}$	$\frac{(kg)}{(m^3)}$

$$\text{Doyurulmuş göreceli yoğunluk } d_{sat} = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (-)$$

(doyurulmuş özgül ağırlık)

$$\text{Tane yoğunluğu } \rho_s = \frac{M_s}{V_s} \quad \frac{(kg)}{(m^3)}$$

(katı yoğunluğu)

$$\text{Tane göreceli yoğunluğu } d_s = \frac{\rho_s}{\rho_w} \quad (-)$$

(tane özgül ağırlığı)

$$\text{Birim ağırlık } \gamma = \rho g \quad \frac{(N)}{(m^3)}$$

(v) İç Bağımlılık Eşitlikleri

Yukarıda tanımlanan fiziksel özellikler birbirleriyle ilişkilidirler. Dolayısıyla herhangi bir özellik, diğerleri biliniyorsa, hesaplanabilir.

Kolaylık için sadece üç özellikten bahsedilecektir. Bunlar su içeriği, gözeneklilik ve kayaç kuru yoğunluğudur. Aşağıda sıralanan eşitlikler bu üç özellikten yararlanarak geriye kalan herhangi bir özelliğin hesaplanmasında kullanılırlar.

Su içeriği, doyurma derecesi ve gözeneklilik çoğunlukla yüzde olarak ifade edilmelerine rağmen, boşluk oranı genelde boyutsuz oran olarak ifade edilir. Yukarıdakilere uygun olarak aşağıdaki iç bağımlılık eşitlikleri verilmiştir.

$$S_r = \frac{100w \rho_d}{n \rho_w} \quad (\%)$$

$$e = \frac{n}{100 - n} \quad (-)$$

$$\rho = \left(1 + \frac{w}{100} \right) \rho_d \quad \frac{(kg)}{(m^3)}$$

$$\rho_s = \left(\frac{100 \rho_d}{100 - n} \right) \quad \frac{(kg)}{(m^3)}$$

(vi) Tane Kütlesinin, M_s , Bulunması

Örnek tane kütlesi, 105°C lik sıcaklıkta fırında kurutulmuş örneğin denk kütlesi olarak tanımlanır.

Termostatik kontrollü, havalandırmalı, en az 24 saatlik bir sürede, 3°C sapmayla, 105°C lik sıcaklığı sağlayacak bir kurutma fırını gereklidir.

Dört saat aralıklarla alınan kütle ölçümlerinin örnek kütlesinin % 0.1' inden az farklar vermesi halinde örnek fırında kurutulmuş sayılır.

Kurutma ve kütle ölçülmesi arasında örnek su almamalıdır. Gerekliyorsa örnek kabı sızdırmaz bir kapakla kapatılmalı ve soğutma sırasında desikatörde korunmalıdır.

(vii) Kitle Hacminin Bulunması

Kaliper Yöntemi: Düzgün kesilmiş prizma veya silindir şeklindeki numunelerin kitle hacimleri verniyer veya mikrometre ölçümleriyle hesaplanabilir. Kitle hacim hesabında her boyut için herbiri 0.1 mm hassasiyetinde alınmış birkaç okumanın ortalaması kullanılmalıdır.

Buoyancy Yöntemi: Düzgün yada bozuk şekilli numunelerin kitle hacimleri Arşimed prensibi kullanılarak, doyurulmuş-yüzeyi-kuru ve doyurulmuş-batık örnek ağırlıkları arasındaki farktan, hesaplanabilir. Parçalanabilir, kabarmalı veya dağılabilir kayalar için bu yöntem uygun değildir.

Örnek 800 Pa (6 torr) dan daha az bir vakum da, en az bir saatlik süreyle suya batırılarak doyurulur. Su içindeki örnekte tutulan havanın tamamen çıkarılması için sürekli karıştırma yapılır.

Örnek daha sonra su altında batırma banyosundaki bir sepete alınır. Doyurulmuş-batık kütlesi M_{sub} 0.1 g hassasiyetinde, sepet artı örneğin doyurulmuş-batık kütlesiyle sadece sepetinkinin arasındaki farktan bulunur.

Son olarak örnek daldırma banyosundan çıkarılır ve yüzeyi nemli bir bezle, sadece yüzey suyunu alacak ve parçaların kopmamasını sağlayacak şekilde kurulur. Örneğin doyurulmuş-yüzeyi-kuru kütlesi 0.1 g hassasiyetinde ölçülür.

Örnek kitle hacmi şu şekilde hesaplanır.

$$V = \frac{M_{sat} - M_{sub}}{\rho_w}$$

Civa Deplasman Yöntemi: Yüksek yüzey gerilimi cıvanın gözeneklerin bütününe değilde sadece büyüklerine girmesine sebep olur. Numune cıva içine batırılır ve hacmi yer değiştiren sıvının hacminden bulunur. Bu amaçla düzenekte kalibre edilmiş bir tüp bulundurulur veya deplasman, vidalı mikrometre göstergeli-elektrik dokunma tekniği, ölçülür. Alternatif bir teknikte yer değiştiren cıvanın hacminin kitle ölçümünden bulunmasıdır. Düzenek numune kitle hacminin % 0.5 i hassasiyetinde sonuç vermelidir ve standart küre veya silindir kullanılarak sürekli olarak kalibre edilmelidir.

Su Deplasman Yöntemi: Doyurulmuş-yüzeyi-kuru örneğin kitle hacmi cıva deplasman yöntemine benzer bir teknik olan su deplasman yöntemiyle bulunabilir. Kuru veya yarı kuru örnek balmumu veya plastikle kaplanıp kitle hacmi, kaplama malzemesi için düzeltilmiş, kaplanmış örnek ve yer değiştiren

suyun hacminden bulunabilir. Bu yöntem kaplama hacminin hassas belirlenmesini gerektirir ve diğer yöntemlerin pratik olmadığı büyük örneklerde en iyi şekilde uygulanır.

(viii) Gözenek Hacminin (boşluk hacminin) V_v Bulunması

Doyurma Yöntemi : Kayaç örneğinin gözenek hacmi doyurulmuş-yüzeyi-kuru ve fırında-kurutulmuş kütlelerinin arasındaki farktan bulunur. Örnek vakumda suya batırılarak doyurulur ve doyurulmuş-yüzeyi-kuru kütlesi M_{sat} ölçülür. Daha sonra fırında kurutularak tane kütlesi M_s bulunur.

Gözenek hacmi, V_v , şu şekilde hesaplanır.

$$V_v = \frac{M_{sat} - M_s}{\rho_w}$$

Washburn-Bunting Yöntemi (Washburn ve Bunting, 1922) : Kayaç örneği fırında kurutulur ve cıvaya batırılır, cıva üzerindeki basınç azaltılarak gözenekteki havanın genişleşip kayaçtan ayrılması ve cıva sütunu üzerinde tutulması sağlanır. Gözenek havasının hacmi, V_g , basınç atmosfer basıncıyla eşitlendikten sonra, kalibre edilmiş bir tüple doğrudan ölçülür. Bu yöntem çabukluk sağlamakla beraber en iyi çok gözenekli kayaçlarda uygulanır.

(ix) Tane Hacminin, V_s , Bulunması

Boyle Yasası Yöntemi : Basınç-hacim ilişkisi sadece gaz ve numune artı gazla doldurulmuş kab için belirlenir. Sıkışabilirlikteki fark sıkışmayan tanelerin hacmi, V_s , sebebiyledir ve bu hacim sonuçlardan hesaplanır. Boyle yasasının bir çeşidi olan tek hücreli porozimetrelerde hacim deplasmanını ölçen cıva pompasıyla beraber basınç değişimini ölçen Bourdan göstergesi bulunur. Boyle çift hücreli tekniği değişik ilk basınçlar için basınç eşitlenmesine dayanır.

Tozlaştırma Yöntemi: Kitle hacmi ve tane kütlesi belirlendikten sonra, fırında kurutulmuş örnek tozlaştırılır ve tane hacmi, V_v , hacim flasksı, içinde denk hacimdeki bir sıvının (örneğin toluene) deplasmanı ile bulunur.

Tozlaştırma yöntemiyle kitle hacmi ve tane hacminden hesaplanan gözenekliliğe toplam gözeneklilik denir. Çünkü elde edilen gözenek hacmi "kapalı" gözeneklerin hacminide içerir. Diğer teknikler etkili gözenekliliği verir çünkü bunlarda birbirine bağlı gözeneklerin hacmi ölçülür.

I. BİR KAYAÇ ÖRNEĞİNİN SU İÇERİĞİNİN BULUNMASI İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

1. AMAÇ

Bu testin amacı kayaç örneğinin içerdiği suyun kütlesinin fırında kurutulmuş örnek kütlesinin yüzdesi olarak ölçülmesidir.

2. DÜZENEK

- a) 105°'lik sıcaklığı, 3° C sapmayla, en az 24 saatlik bir süreyle sağlayabilecek bir fırın.
- b) Paslanmaz malzemeden yapılmış, hava sızdırmaz kapaklı bir örnek kabı,
- c) Örnek kaplarının soğuma sırasında konacağı bir desikatör,
- d) % 0.01 hassasiyetle tartım yapabilecek, yeterli kapasiteli bir terazi.

3. YÖNTEM

- a) Kap ve kapağı temizlenir, kurulanır ve kütlesi, A, ölçülür.
- b) Her biri en az 50 g kütleli veya minimum boyutu maksimum tane büyüklüğünün 10 katı olan, hangisi daha büyükse, en az 10 parçayı kapsayan temsili bir örnek seçilir. Yerinde su içeriğinin bulunabilmesi için örnekleme, depolama ve taşıma öyle olmalıdır ki su içeriği yerindeki değer in % 1'i civarında olmalıdır,
- c) Örnek kaba konur, kapak kapatılır ve örnek artı kap kütlesi, B, ölçülür,

- d) Kapak açılır ve örnek 105°'de sabit bir kütleye kurutulur,
- e) Kapak kapatılır ve örnek desikatörde 30 dakika soğumaya bırakılır. Örnek artı kap kütlesi, C, ölçülür.

4. HESAPLAMA

$$\begin{aligned} \text{gözenek su kütlesi } M_v \\ \text{Su içeriği } w = \% \frac{\text{tane kütlesi } M_s}{B - C} \times 100 \\ = \% \frac{C - A}{C - A} \times 100 \end{aligned}$$

5. RAPOR

Su içeriği % 0.1 katlarıyla verilmeli ve bunun yerinde su içeriğine karşı gelip gelmediği belirtilmelidir. Örnekleme ve depolama sırasında su kaybını önlemek için alınan önlemler sıralanmalıdır.

II. DOYURMA VE KALİPER YÖNTEMİ KULLANILARAK GÖZENEKLİLİK/YOĞUNLUK BULUNMASI İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

1. AMAÇ

- a) Bu testin amacı düzgün şekilli kayaç örneklerinin gözeneklilik, kuru yoğunluk ve ilgili diğer özelliklerinin bulunmasıdır.
- b) Bu yöntem dağılmayan, işlenebilir ve fırında kurutulduğunda veya suya batırıldığında kabarmayan veya parçalanmayan kayaçlar için kullanılmalıdır. Diğer deneyler için düzgün şekilli numuneler gerektiğinde bu test önerilir.

2. DÜZENEK

- a) 105°'lik sıcaklığı, 3°C sapmayla, en az 24 saatlik süreyle sağlayabilecek bir fırın,

- b) Örneklerin soğuma sırasında konulacağı bir desikatör,
- c) Numune boyutunu 0.1 mm hassasiyetle okuyabilecek, verniyer veya mikrometre kaliper gibi bir ölçüm aleti.
- d) Numunelerin 800 Pa (6 torr) dan daha az bir vakum altında, en az bir saat süreyle suya batırılabilceği vakum doyurma aracı,
- e) Numune kütlesini % 0.01 hassasiyetle ölçebilecek, yeterli kapasitede bir terazi.

3. YÖNTEM

- a) Düzgün silindir veya prizma geometrilerine yakın şekilde, temsili bir örnekten en az 3 numune kesilir. Minimum numune büyüklüğü, kütlesi en az 50 g olacak (ortalama yoğunlukta bir kayaç için kenar uzunluğu 27 mm olan bir küp yeterli kütlerde olacaktır) veya minimum boyutu maximum tane büyüklüğünün 10 katı olacak şekilde, hangisi daha büyükse, olmalıdır.
- b) Numune kitle hacmi, V, her boyut için alınan birkaç kaliper okumasının ortalamasından hesaplanır. Her okuma 0.1 mm hassasiyetle olmalıdır.
- c) Numune 800 Pa (6 torr) 'dan az bir vakumda, en az bir saat süreyle, suya batırılarak doyurulur. Sıkışmış hava sürekli karıştırma ile çıkarılır.
- d) Numune dışarı çıkarılır ve yüzeyi nemli bir bezle kurulanır. Bu sırada sadece yüzey suyunun alınmasına ve hiç bir parça kaybolmamasına dikkat edilir. Doymuş yüzeyi-kuru kütle, M_{sat} , ölçülür.
- e) Numune 105° C de sabit bir kütleye kurutulur, desikatörde 30 dakika soğumaya bırakılır ve tane kütlesini M_s verecek kütlesi ölçülür. Bu teste kullanılan numuneler kap gerektirmeyecek sağlamlıktadırlar ancak kayaç dağılabilir veya çatlayabilir yapıdaysa kap kullanılması gereklidir.

- d) Numunelerin 800 Pa (6 torr) dan daha az bir vakum altında, en az bir saat süreyle suya batırılabilceği vakum doyurma aracı,
- e) Numune kütlesini % 0.01 hassasiyetle ölçebilecek, yeterli kapasitede bir terazi.

3. YÖNTEM

- a) Düzgün silindir veya prizma geometrilerine yakın şekilde, temsili bir örnekten en az 3 numune kesilir. Minimum numune büyüklüğü, kütlesi en az 50 g olacak (ortalama yoğunlukta bir kayaç için kenar uzunluğu 27 mm olan bir küp yeterli kütlede olacaktır) veya minimum boyutu maximum tane büyüklüğünün 10 katı olacak şekilde, hangisi daha büyükse, olmalıdır.
- b) Numune kitle hacmi, V , her boyut için alınan birkaç kaliper okumasının ortalamasından hesaplanır. Her okuma 0.1 mm hassasiyetle olmalıdır.
- c) Numune 800 Pa (6 torr) 'dan az bir vakumda, en az bir saat süreyle, suya batırılarak doyurulur. Sıkışmış hava sürekli karıştırmalarla çıkarılır.
- d) Numune dışarı çıkarılır ve yüzeyi nemli bir bezle kurulanır. Bu sırada sadece yüzey suyunun alınmasına ve hiç bir parça kaybolmamasına dikkat edilir. Do yurulmuş-yüzeyi-kuru kütle, M_{sat} , ölçülür.
- e) Numune 105° C de sabit bir kütle ye kurutulur, desikatörde 30 dakika soğumaya bırakılır ve tane kütlesini M_s verecek kütlesi ölçülür. Bu teste kullanılan numuneler kap gerektirmeyecek sağlamlıktadırlar ancak kayaç dağılabilir veya çatlayabilir yapıdaysa kap kullanılması gereklidir.

4. HESAPLAMA

$$\text{Gözenek hacmi} \quad V_v = \frac{M_{\text{sat}} - M_s}{\rho_w}$$

$$\text{Gözeneklilik} \quad n = \% \frac{100 V_s}{V}$$

$$\text{Kayaç kuru yoğunluğu} \quad \rho_w = \frac{M_s}{V}$$

5. RAPOR

- Her kayaç örneğinden en az üç numune için bütün değerler, örnek için ortalama değerle birlikte verilmelidir.
- Yoğunluk değerleri 10 kg/m^3 ve gözeneklilik değerleri % 0.1'in katlarıyla verilmelidir.
- Raporda kitle hacminin kaliper ölçümleriyle ve gözenek hacminin suya doymayla elde edildiği belirtilmelidir.

III DOYURMA VE BUOYANCY TEKNİKLERİYLE GÖZENEKLİLİK/YOĞUNLUK BULUNMASI İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

1. AMAÇ

- Bu testin amacı bozuk geometrili parçalar veya yığınlar şeklindeki kayaç örneklerinin gözeneklilik, kuru yoğunluk ve ilgili özelliklerinin bulunmasıdır. Bu test düzgün geometrili numunelerinde uygulanabilir.

- b) Bu yöntem sadece fırında kurutulduğunda veya suya batırıldığında hissedilir derecede kabarmayan veya parçalanmayan kayalar için kullanılabilir.

2. DÜZENEK

- a) 105° C'lik bir sıcaklığı, 3°C sapmayla, en az 24 saatlik bir süreyle sağlayabilecek bir fırın.
- b) Paslanmaz malzemeden yapılmış hava sızdırmaz kapağı olan bir kap.
- c) Soğuma sırasında örnek kaplarının konulabileceği bir desikatör.
- d) 800 Pa (6 torr) dan az bir vakum altında, en az 1 saat süreyle, numunelerin suya batırılabilmesi için bir vakum doyurma aracı.
- e) Örnek kütlesini % 0.01 hassasiyetle ölçebilecek yeterli kapasiteli bir terazi.
- f) Suya batırılmış örneğin teraziye asılarak doyurulmuş-batık-kütlesinin ölçülebilmesini sağlayacak batırma banyosu ve tel sepet veya delikli kap. Sepet teraziye ince bir telle asılmalıdır ki sadece tel batırma banyosundaki suyun yüzeyini kesmelidir.

3. YÖNTEM

- a) Her biri en az 50 g kütleli veya minimum boyutu maksimum tane büyüklüğünün 10 katı olan, hangisi daha büyükse, en az 10 düzgün veya bozuk geometrilili parçadan oluşan temsili bir örnek seçilir. Örnek suyla temizlenerek tozdan arıtılır.
- b) Örnek 800 Pa (6 torr) dan az bir vakumda, en az bir saatlik süreyle ve sıkışmış havanın çıkarılması için sürekli karıştırma ile suya batırılarak doyurulur.
- c) Örnek daha sonra, batırma banyosunda, su altında sepete taşınır. Örneğin doyurulmuş-batık-kütlesi, M_{sat} , 0.1 g hassasiyetinde, sepet

artı örnekle sadece sepetin doyurulmuş-batık-kütleleri arasındaki farktan bulunur.

- d) Örnek kabı ve kapağı temizlenir, kurulanır ve kütlesi, A, ölçülür.
- e) Örnek batırma banyosundan çıkarılır, yüzeyi nemli bir bezle, sadece yüzey suyunu alacak ve hiç bir parça düşürmeyecek şekilde, kurulanır. Daha sonra örnek kabına taşınır, kapak kapatılır ve örnek artı kabın doyurulmuş yüzeyi kuru kütlesi, B, bulunur.
- f) Kapak açılır ve örnek 105°C de sabit bir kütleye kurutulur. Kapak kapatılır ve örnek desikatörde 30 dakika soğumaya bırakılır. Örnek artı kabın fırında kurutulmuş kütlesi, C, ölçülür.

4. HESAPLAMA

Doyurulmuş -yüzeyi - kuru kütle

$$M_{sat} = B - A$$

Tane ağırlığı

$$M_s = C - A$$

Kitle hacmi

$$V = \frac{M_{sat} - M_s}{\rho_w}$$

Gözenek hacmi

$$V_v = \frac{M_{sat} - M_s}{\rho_w}$$

Gözeneklilik

$$n = \% \frac{100 V_v}{V}$$

Kayaç kuru yoğunluğu

$$\rho_w = \frac{M_s}{V}$$

5. RAPOR

- a) Raporda örnek için gözeneklilik ve kuru yoğunluk değerleri verilmelidir. Ayrıca kitle hacminin buyancy tekniğiyle ve gözenek hacminin suya doyurmaıyla elde edildiği belirtilmelidir.
- b) Yoğunluk değerleri 10 kg/m^3 ve gözeneklilik değerleri % 0.1'in katlarında verilmelidir.

IV CİVA DEPLASMANI VE TANE ÖZGÜL AĞIRLIĞI TEKNİKLERİNİ KULLANARAK GÖZENEKLİLİK / YÖĞUNLUK BULUNMASI İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

1. AMAÇ

- a) Bu testin amacı bozuk geometrili, parçalar veya yığınlar şeklindeki kayaç örneklerinin gözeneklilik, yoğunluk ve ilgili özelliklerinin bulunmasıdır. Bu test özellikle suya batırıldığında kabarmaya veya parçalanmaya açık olan kayaç malzemeleri için uygundur. Ayrıca düzgün şekilli veya sağlam kayaç numunelerine de uygulanabilmekle beraber, bu gibi durumlarda diğer teknikler daha kullanışlıdır.

2. DÜZENEK

- a) 105°C 'lik sıcaklığı, 3°C 'lik sapmayla, en az 24 saat süreyle sağlayabilecek ve çıkan havayı dışarı atabilecek bir fırın.
- b) Paslanmaz malzemeden yapılmış, hava sızdırmaz kapaklı numune kapları.
- c) Soğuma sırasında numune kaplarının konulacağı bir desikatör.
- d) 0.001 grama kadar kütle ölçebilecek, yeterli kapasiteli bir terazi.
- e) Numune hacmini % 0.5'e kadar ölçebilecek civa-deplasman-hacmi ölçme düzeneği.

- f) Örneği 150 mm'den ufak tane büyüklüğünde toz haline getirecek öğütme aleti.
- g) Kalibre edilmiş hacim flasks ve durdurucu (50 cm³'lük uygundur).
- h) Bir sabit sıcaklık su banyosu.
- i) 800 Pa (6 torr) dan az basınçlı vakum sağlayabilecek bir vakum düzeneği.
- j) Deve kılından veya benzer sertlikte başka bir kıldan yapılmış yumuşak bir fırça.

3. YÖNTEM

- a) Hacim ölçücü düzeneğe uygun şekil ve büyüklükte en az 10 kayac parçasından oluşan temsili bir örnek seçilir. Her bir parçanın minimum büyüklüğü, kütlesi 50 gramdan büyük veya minimum boyutu maksimum tane büyüklüğünün en az 10 katından büyük olacak şekilde, hangisi daha büyükse, olması tercih edilir. Kabaran veya çatlayan numuneler su içeriklerini yerinde değerinin % 1 civarında tutabilmek için uygun şekilde örneklenmeli ve depolanmalıdır.
- b) Numunenin üzerindeki gevşek malzemesi fırçayla alınır ve hacmi, V, civa deplasmanı ile ölçülür. Numuneye yapışan civa hiç bir parça kaybetmeden dikkatlice temizlenir.
- c) Numune kabı ve kapağı temizlenir, kurulanır ve kütlesi, A, bulunur.
- d) Numune kaba konur, kapak kapatılır ve ilk su içerikli, numune artı kabın kütlesi, B, bulunur.
- e) Kapak açılır, numune 105°C de sabit kütleye fırında kurutulur ve desikatörde 30 dakika soğumaya bırakılır. Kap artı fırında kurutulmuş numunenin kütlesi, C, ölçülür.
- f) "b" - "e" basamakları örnekteki bütün numuneler için tekrarlanır.

- g) Numuneler 150 mm'yi geçmeyen tane büyüklüğüne kırılır ve öğütülür. Tozlaştırılmış malzemeden yaklaşık 15 gramlık temsili alt örnekler alınır ve fırında kurutulur.
- h) Temiz ve kuru hacim flaskı artı durdurucunun kütlesi, D, 0.001 g hassasiyette bulunur.
- i) Toulene gibi kayaçla reaksiyona girmeyen bir sıvıyla doldurulmuş hacim kabı, sabit sıcaklık banyosunda denge sıcaklığına getirilir ve sıvı seviyesi dikkatlice 50 cm³'e ayarlanır. Flask alınır, durdurulur ve kütlesi, E, 0.001 g hassasiyetle bulunur.
- j) Flask boşaltılır, kurutulur ve 15 g kuru tozlaştırılmış kayaç alt örneği huni ile eklenir. Flask, örnek ve durdurucunun kütlesi, F, 0.001 g hassasiyetle ölçülür.
- k) Flask ve alt örnek 20 dakika sallanır ve örneği tamamen ıslatacak şekilde sıvı eklenir. Daha fazla sıvı eklenir ve havanın tamamen çıkması için sallama devam eder. Flask sabit sıcaklıkta su banyosuna konur ve sıvı seviyesi hassasça 50 cm³'e ayarlanır.
- l) Durdurulmuş flask ve içindekiler soğumaya bırakılır ve kütlesi G 0.001 g hassasiyetle bulunur.
- m) "j" - "l" her bir tozlaştırılmış malzeme alt örnekleri için tekrarlanır.

4. HESAPLAMA

a) Su içeriği

$$w = \frac{B - C}{C - A} \times \% 100$$

b) Tane yoğunluğu

$$\rho_s = \frac{F - D}{G - F} \times V_f \left(1 - \frac{E - D}{G - F} \right)$$

V_f = ayarlı flask hacmi, çoğunlukla 50 m³

c) Tane kütlesi

$$M_s = C - A$$

d) Kayaç kuru yoğunluğu

$$\rho_w = \frac{M_s}{V}$$

e) Gözeneklilik

$$n = \% \frac{100(\rho_s - \rho_d)}{\rho_s}$$

5. RAPOR

- Örnekteki her bir numune için kuru yoğunluk değerleri, örnek için ortalama değerler ile birlikte verilmelidir. Ayrıca her alt örnek için gözeneklilik değerleri ortalamayla birlikte sunulmalıdır.
- Raporda kitle hacminin civa deplesman tekniği ve gözenekliliğin tozlaştırma tekniği kullanılarak tane hacim ölçümlerinden elde edildiği belirtilmelidir.
- Örnek için tane yoğunluğu ve tane özgül ağırlığı verilmelidir. Kitle hacim ölçümlerinin alındığındaki su içeriği belirtilmeli ve bunun yerinde su değerine karşı gelip gelmediği anlatılmalıdır.
- Yoğunluk değerleri 10 kg/m³ ve gözeneklilik değerleri % 0.1 katlarıyla ifade edilmelidir.

V CİVA DEPLESMANI VE BOYLE YASASI TEKNİĞİ KULLANILARAK YOĞUNLUK / GÖZENEKLİLİK BULUNMASI İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

1. AMAÇ

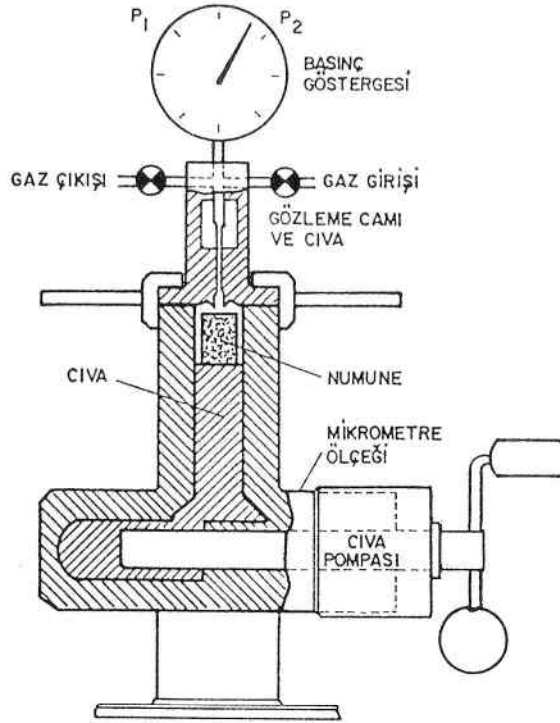
- Bu testin amacı kayaç örneklerinin gözeneklilik, kuru yoğunluk ve ilgili özelliklerinin ölçülmesidir. Doğru sonuç alabilmek için

denzeneğe uygun belirli büyüklük ve şekilde numunelerden oluşan örnek gereklidir.

- b) Bu yöntem sadece fırın kurutması sırasında hissedilir derecede büzülmeyen kayalar için kullanılmalıdır.

2. DÜZENEK

Aşağıda verilen prosedür Kobe tipi tek hücreli Boyle Kanunu parozimetresi kullanılan testle ilgilidir. (Şekil 1). Denk hassasiyette bir başka düzende kullanılabilir. Düzenek başlıca aşağıdakilerden oluşur.



Şekil 1 - Kobe Boyle Yasası Porozimetresi Şeması

- a) 105° C'lik sıcaklığı, 3°C sapmayla en az 24 saatlik süreyle sağlayabilecek bir fırın.
- b) Paslanmaz malzemeden yapılmış, hava sızdırmaz, kapaklı bir numune kabı.

- c) Numuneleri soğutma sırasında tutmak için bir desikatör.
- d) Numune kütlesini % 0.01 hassasiyetle ölçebilecek yeterli kapasitede bir terazi.

Aşağıdaki özellikleri olan Kobe porozimetresi gibi Boyle Yasası porozimetresi.

- e) Vida-pistonlu, yer değiştiren cıvanın hacmini 0.01 cm^3 hassasiyetinde ölçebilecek şekilde derecelendirilmiş mikrometreli bir cıva pompası. Vidalı pompanın bir dönüşü numune odası hacmini 1 cm^3 değiştirmelidir.
- f) Çıkarılabilir başlığıyla numune yerleştirilmesini sağlayan bir numune odası.
- g) Bir referans çizgili gözleme camı, bir elektrikli temas göstergesi veya boşluktaki cıva seviyesini belirleyebilecek bir başka araç.
- h) Her biri kapama valfli gaz giriş ve çıkışı ve Helyum gibi bir asal gaz kaynağı.
- i) 100 kPa'dan yaklaşık 400 kPa 'a kadar aralıklı numune odasındaki gaz basıncını ölçmek için kullanılacak basınç ölçer veya transdüser.

3. YÖNTEM

- a) Temsili örnekten en az üç numune seçilir ve her numune ayrı ayrı, örnek için ortalama değeri bulmak için, test edilir.

Oda genellikle silindirik olup standart ebatlı karotları kabul eder. Numunenin ebatı öyle olmalıdır ki- ya kütlesi minimum 50 gr veya boyutları asgari en iri, büyük tane büyüklüğünün 10 misli olsun.

- b) Numune muhafazası kapağıyla birlikte temizlenir, kurulanır ve kütlesi (A) tesbit edilir.

- c) Numune muhafaza kabına konup, 105°C de sabit kütlesine kadar ısıtılır ve kapağı alınır. 30 dakika kadar desikatör içinde soğumaya terkedilir. Kütle B, fırında kurutulmuş numune artı muhafaza hücresi olarak tesbit edilir.
- d) Porozimetrenin (Gözenek ölçücü) kullanılışı: Civa pompa okuması, her basma veya deplasman turunda, "başlangıç noktası" olarak adlandırılır. Basma turunun öncesinde giriş ve çıkış (valf) kapakçıkları kapatılır, öyle ki P_1 ilk basıncı atmosfer olsun. Başlangıç noktası ve basma turunun sonundaki P_e basıncı genelde aletin standardı sayılır. Bu, numunenin tur sonunda da civa üstünde yüzer durumda olmasını, dolayısıyla batıp, emilmesini önlemek içindir.
- e) Numuneyi odacıktan gaz yardımıyla sürüklemek için; giriş valfi (kapakçığı) kapatılır, çıkış kapakçığı açılır ve civa ölçek'e gelene kadar pompalama işlemine devam edilir. Çıkış bundan sonra yarı kapanır, giriş açılır ve pompa başlangıç noktasının ötesine kadar geri çekilir. Giriş ve akabinde çıkış kapakları kapatılır.
- f) Hücrenin basma faktör C_1 'i tanımlamak için; numune odacığı önce gazla doldurulup, akım sağlanır, çıkış kapakçığı açılır ve pompa başlangıç noktasına gelene kadar açılır. Çıkış kapakçığı P. atmosfer basıncındayken, numune odacığıyla kapatılır. Pompa yapıp, basıncın P_2 noktasına ulaştığı anda mikrometreden C_0 değeri okunur. Odacığa yeniden gaz verilir ve çıkış kapakçığıyla orijinal noktanın 10 cm³ ötesindeki yeni başlangıç noktasına getirilir. Çıkış P_1 atmosfer basıncında odacıkla kapatılır ve pompa ilerletilir. Basınç P_2 seviyesine ulaşınca C_1 okuması yapılır.

Basma faktörü hesabında kullanılan formül;

$$C_f = \frac{10}{10 - (C_0 - C_1)}$$

Bu faktör basınca bağlı olup, periyodik olarak kontrol edilmelidir.

- g) Her bir test, boş odacıkta bir basma darbesinin takib ettiği bir deplasman darbesine (stroke) sebep olur. (boş hamle), daha sonra odacıkta numuneyle basma darbesinin takib ettiği bir deplasman darbesine sebep olur. Hadise şu şekildedir;
- h) Kapalı giriş kapakçığıyla, açık çıkış kapakçığında, pompalama civa ölçeğe gelene kadar yapılır. Mikrometreden R_1 kaydedilir.
- i) Odacığa gaz verilip, pompa başlangıç noktasına ilerletilir ve P_1 atmosfer basıncında kapakçıklar ve odacık kapatılır. P_2 basıncına ulaşıldığında R_2 değeri kaydedilir.
- j) Numune desikatörden alınıp odacığa yerleştirilir. Odacık gazla doldurulup (h) işlemi tekrarlanır, ama ölçeğe ulaşınca, deplasman darbesi mikrometreden R_3 olarak okunur.
- k) (i) işlemi tekrarlanıp, P_2 basıncına ulaşıncaya R_4 basma darbesi mikrometreden kaydedilir.

4. HESAPLAMA

Kitle hacmi	$B_v = R_3 - R_1$
Tane hacmi	$G_v = C_f (R_4 - R_2)$
Tane ağırlığı	$G_v = B - A$
Gözeneklilik	$n = \frac{B_v - G_v}{B_v} \times 100$
Kayaç kuru yoğunluğu	$\rho_d = G_v / B_v$

5. RAPOR

- a) Herbir numunenin münferit kuru yoğunluk ve gözeneklilik değerleri, numunelerin alındığı örnek için (blok veya) ortalama alınarak kaydedilmelidir.
- b) Rapor, kitle hacminin, civa deplasman tekniğiyle bulunduğunu belirtmeli ve gözenekliliğin Boyle Kanunu tekniği kullanılarak tane hacmi ölçümleriyle hesaplandığı bildirilmelidir.
- c) Yoğunluk değerleri en yakın kg/cm^3 ve gözeneklilik değerleri de en yakın 0.1 gözenek yüzdesine verilmelidir.

VI ÇABUK EMME TEKNİĞİ KULLANILARAK, İNDEKS TANIMLAMAK İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

1. AMAÇ

- a) Bu testin amacı bir kaya numunesinde, ilk durum desikatör kuru kütle yüzdesi esas alınarak suda kaldıktan sonra, toplanan su kütlesi olarak tanımlanan boşluk indeksini ölçmektir.
- b) İndeks, gözenekle ilişkilendirilir. Bunun yanında aşınma veya değişimle de test, minimum ekipman kullanımına göre düzenlenmiştir. Bununla birlikte, gerekli aletler temin edildiği takdirde, kaya gözenekliliği ve yoğunluğu direk olarak, daha önce açıklanan yöntemlerle (Yöntem 2-5) bulunmalıdır.
- c) Test, sadece suya daldırıldığında fazla dağılmayan kayalar için uygulanabilir.

2. DÜZENEK

- a) Su geçirmez, dihidrat silika jel içinde paketlenmiş numuneyi alacak kapasitede olan aşınmaz metal bir kap

- b) Bir miktar dihidrat silika jel.
- c) 0.5 g. doğrulukta, yeterli kapasiteli bir tartı aleti.

3. YÖNTEM

- a) Her biri en az 50 g kütleli veya minimum boyutu maksimum tane büyüklüğünün 10 katı olan, hangisi daha büyükse, aslını temsil edebilecek en az 10 parça içeren bir numune seçilir.
- b) Numune hava kurutma ortamında kaba konulur. Her bir parça birbirinden ayrı ve dihidrat silika jel kristalleriyle kaplıdır. Kap 24 saat bekletilir.
- c) Kap boşaltılır ve numune dışarı alınır. Gerçek kaya parçacıkları ve silika jel kristalleri temizlenir (fırçayla) ve A kütlesi tesbit edilir (0.5 doğrulukta)
- d) Numune tekrar kaba konup içine batıncaya kadar su ilave edilir. Kab, hava kabarcıklarının çıkarılmasından sonra 1 saat beklenir.
- e) Numune çıkarılır ve yüzeyi nemli bir bezle kurulur. Burada sadece yüzey suyunun alınmasına ve hiçbir parçacığın eksiltilmemesine dikkat edilmelidir. B kütlesi de tesbit edilir (0.5 g hassasiyetle)

4. HESAPLAMA

$$\text{Boşluk indeksi : } I_v = \frac{B - A}{A} \times 100 \%$$

5. RAPOR

- a) Boşluk maddesi % 1 katlarıyla kaydedilir.
- b) Raporda boşluk maddesinin, desikatörde kurutmayı takiben 1 saat suda bekletme sonucunda toplanan su miktarının olduğu belirtilmelidir.

KAYNAKLAR

1. American Petroleum Institute, API recommended practice for core-analysis procedure. Am Petrol Inst. Recommended Practice RP 40 (1960).
2. British Standards Institution Methods for sampling and testing mineral aggregates, sands and fillers. British Standard 812 (1967).
3. British Standards Institution Methods of testing soils for civil engineering pupposes. British Standard 1377 (1967).
4. Buell A. W., Porosity and permeability analysis. In Subsurface Geologic Methods, Colarado Sch. Mines. pp. 168 - 179 (1949).
5. Duncan N., Rock mechanics and earthworks engineering part 5: quantitative classification of rock materials. Muck Shifier, October, pp. 39-47 (1966).
6. Franklin J. A., Classification of rock according to its mechanical properties. Ph. D. Thesis, London Universitiy (1970).
7. Hamrol A. A., quantitative classification of the weathering and weatherability of rocks. 5th Int. Conf. Soil Mech. Eng. 2, 771. Paris (1961).
8. Hanes F. E., Determination of porosity, specific gravity, absorption and permeability, and details of sample preparation of various otehr rock studies Appandix II in Jet Piercing Research Project. Mines Branch Investigation Report. IB 62-27. Dept. Mines and Tech. Surveys. Ottawa. pp. 332-358 (1962).
9. Jeckins R. B., Accuracy of porosity determinations Proc. Ist. Ann. Meeting. Soc., Professional Well Log Analysts. Tulsa, Oklahoma. 15 pp. (1960)

10. Manger G. E., Method dependent values of bulk, grain and pore volume as related to observed porosity. U. S. Geol. Survey Bul. N. 1203, 20 pp (1966).
11. Morgenstern N. R. & Phukan A. L. T. Non linear deformation of a sandstone. Proc. Ist. Int. Congress ROCK Mech. Lisbon I, 543-548 (1966).
12. Obert L., Windes S. L., Duvall W. I. Standardised testis for determining the physical properties of mine rock. U.S. Bur. Mines Report of Investigations 3891 (1946).
13. Washburn E. W. & Bunting E. N. Determination of porosity by the method of gas expansion. American Ceramic Soc. 5, No. 48. 112 (1922).

KABARMA VE SUDA DAĞILIM DAYANIM İNDEKS ÖZELLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEMLER *

Çeviren : Dursun SARI*

NOTLAR

(i) Kabarma ve Suya Dayanım Verilerinin Mekanik Önemi

Özellikle yüksek kil içeren kayaların büyük bir kısmı, kuru ve yaş ortamda aşındırma sürecine kısa bir müddet maruz kaldığı zaman, kabarmaya, zayıflamaya ve parçalanmaya yatkındır. Bu mekanik olayları belirlemek için özel deneyler gerekir. Bunlar indeks deneyleridir; bu deneyler bir kayacı başka bir kayaç ile mukayese etmek ve sınıflandırmada en iyi şekilde kullanılır. Aynı yükleme ve su içirme koşullarında yapılmış olan deneyin sonucundaki kabarma gerinim indeksi, arazide (yerinde) oluşabilecek gerçek kabarma gerinimi olarak alınmamalıdır.

Bu deneyler, doğal yaş ve kuru ortam durumuna benzetilir. Buzlanma, tuz kristalleşmesi veya aşınma gibi aşındırma vasıtalarına karşı olan direnci bulmak için deneyin diğer çeşitleri daha uygundur (De Puy, 1965).

(ii) Kayaç Örneğinin Yapısı

Kayaç yapısının, ölçülecek diğer özellikler üzerinde önemli tesiri olduğu için mümkünse zedelenmemiş kayaç numunesi kullanılmalıdır. Zedelenmemiş numune hazırlamanın mümkün olmadığı çok zayıf veya çok kırılğan durumlarda, (genellikle eklem dolgu malzemeleri durumunda olduğu gibi) kabarma deneyleri kalıba dökülmüş örnekler üzerinde yapılabilir. Kalıp dökme standard toprak sıkıştırma yöntemlerine göre olmalı ve takib edilen yöntem raporda tarif edilmelidir.

* Rock Characterization, Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, Editor : E.T. Brown, 1981, pp. 89-94, Pergamon Press

* ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, 06531 ANKARA

(iii) Deneylerin Sert ve Yumuşak Kayaçlara Uygulanması

Bu deneyler, genellikle zayıf kayaç malzemelerinin tanımlanması ve sınıflandırılması için yapılır. Bununla beraber, ileri düzeyde aşınmış olan sert kayaçların dahi tanımlanması için kullanılabilir.

Toprak sınıflandırma deneylerinde kırılan, parçalanan kayaçlar kullanılarak daha da tanımlama yapılmalıdır. (plastik ve sıvı limitlerinin belirlenmesi, tane boyut dağılımı veya kil mineral cinsi ve içeriği gibi).

1. HACMIN DEĞİŞMEMESİ DURUMLARINDA KABARMA BASINÇ İNDEKSİNİN BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

1. AMAÇ

Bu deneyin amacı, su içindeki zedelenmemiş kayaç örneğini sabit hacimde tutmak için gerekli basıncı ölçmektir.

2. DÜZENEK

Bu düzenek, toprak sıkıştırma deneyi için kullanılanlardan adapte edilebilir ve asıl olarak şunları içerir:

- (a) Kenar sürtünmeleri azaltmak için parlatılmış ve yağlanmış radyal hareketi engelleyen, en az numuneyi içine alabilecek derinlikte metal bir yüzük.
- (b) Numunenin alt ve üstünden suyun çıkışını sağlayan geçirgen plakalar; üst plaka yüzüğün içinde serbestçe kayabilecek bir çapta olması gerekir. Numune ile plakalar arasına filtre kağıdı yerleştirilebilir.
- (c) Numune düzeneğini içine alabilen üstteki geçirgen plakanın üzerine kadar su ile dolabilecek bir hücre. Hücrenin ana hatları ve

plakanın düz kalabilmesi için kuvvet aletin sert kısmına uygulanmalı, üst geçirgen plakanın dönebilmesi için küresel bir yuva olmalıdır.

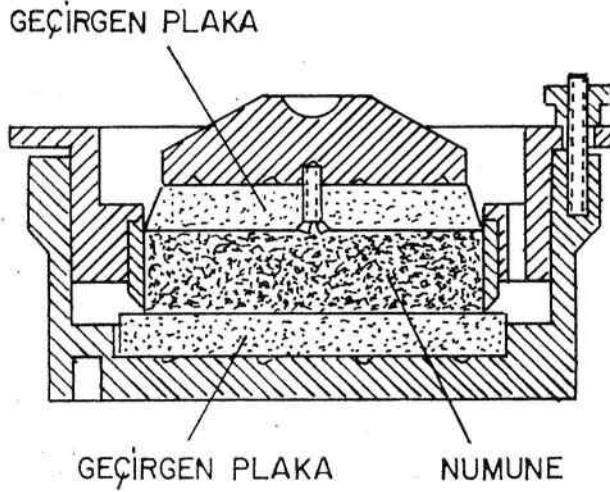
3. DENEY NÜMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

- (a) Başlangıçtaki doğal su içeriği koşullarında deney yapılması için, hazırlanan numunenin su içeriği arazideki değerinin ($\pm 1 \%$) içinde olmalıdır. Birisi su içeriğinin belirlenmesi ve diğeri kabarma testi için aynı örnekten çift numune hazırlanmalıdır.
- (b) Başlangıç su içeriği suni kontrolla yapılan deneyler için, hazırlanan örnek sabit nemli ortamda denge kütle durumuna getirilebilir. Daha sonra, birisi su içeriğini ve diğeri kabarma testi için aynı örnekten çift numune hazırlanmalıdır.
- (c) Nümunenin geometrisi dik silindir geometrisine benzer olmalıdır. Kalınlığının 2.5 katından daha az olmayan bir çapta olmalıdır. Maksimum tane çapının on katı veya 15 mm'den büyük veya bunlardan hangisi büyük ise o kalınlıkta olmalıdır. Nümune yüzüğün içine çok iyi uymalıdır.
- (d) Tabakalanma ve yapraklanma eğimi nümune eksenine göre ölçülmelidir.

4. YÖNTEM

- (a) Düzenek bir araya getirilir ve numuneye 10 kPa gibi az bir eksenel kuvvet uygulanır.
- (b) Sonra üst geçirgen plakayı kapatacak şekilde hücre su ile doldurulur ve kabarma kuvveti geçen zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir.
- (c) Test süresince, nümune kabarmasının sıfırlanması için uygulanan kuvvet düzenli olarak ayarlanmalıdır. Nümunenin kalınlığının 0.01

nümune düzeneği Şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2. Yanlardan Sıkıştırılmış Kabarma Deneyleri İçin Hücre Düzeneği

- (d) Nümunenin merkez eksenindeki kabarma hareketini ölçmek için 0.0025 mm 'ye kadar okuma yapılabilen bir mikrometre daylı geyici (dial-gauge) veya başka bir alet monte edilmelidir.
- (e) Kabarmaya karşı gerekli kuvveti % 1 hassasiyetde ölçebilecek derecede yük ölçme cihazı.
- (f) Kabarma basıncı arttıkça nümuneyi sabit hacimde tutmak için sürekli ayarlanabilir, vidalı kama gibi yükleme aleti. Geçirgen

mm civarında olması sağlanmalıdır.

- (d) Kabarma kuvveti , maksimumu geçene anlaşıncaya veya sabit bir seviyeye kadar kaydedilmeye devam edilmelidir.

5. HESAPLAMA

Kabarma basınç indeksi şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Kabarma basınç indeksi} = \frac{F}{A}$$

Burda;

F= Test süresince kaydedilen maksimum eksenel kabarma kuvveti.

A= Nümunenin kesit alanı

6. RAPOR

Sonuçlar her örnekte en az üç nümune için verilmelidir. Rapor her nümune için aşağıdaki bilgileri kapsamalıdır.

- (a) Kabarma basınç indeksi
- (b) Nümunenin başlangıçtaki su içeriği; bu doğal su içeriğine karşılık gelip gelmediği, eğer karşılık ise deneyden önce depolama metodu.
- (c) Nümunenin eksenine göre tabakalanma veya yapraklamanın eğimiyle birlikte numunenin çapı ve kalınlığı.

2. RADYAL SIKIŞTIRILMIŞ EKSENEL YÜKLEMELİ NÜMUNENİN GERİNİM İNDEKSİNİ BELİRLEMEK İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

1. AMAÇ

Bu deneyde, radyal sıkıştırılmış zedenelenmemiş kaya nümunesinin, suya tabi tutulduğunda, eksenel basınç ve yüklemeye karşı oluşturduğu eksenel kabarma gerininin ölçümü amaçlandı.

2. DÜZENEK

Bu düzenek, toprak sıkıştırma deneyi için kullanılanlardan adapte edilebilir ve asıl olarak şunları içerir:

- (a) Kenar sürtünmeleri azaltmak için parlatılmış ve yağlanmış radyal hareketi engelleyen, en az nümune içine alabilecek derinlikte metal bir yüzük.
- (b) Nümunenin alt ve üstünden suyun çıkışını sağlayan geçirgen plakalar; üst plaka yüzüğün içinde serbestçe kayabilecek bir çapta olması gerekir. Nümune ile plakalar arasına filtre kağıdı yerleştirilebilir.
- (c) Nümune düzeneğini içine alabilen üstteki geçirgen plakanın üzerine kadar su ile dolabilecek bir hücre. Hücrenin ana hatları ve numune düzeneği Şekil 2'de gösterilmiştir.
- (d) Numunenin merkez eksenindeki kabarma hareketini ölçen 0.0025 mm 'ye kadar okuma yapabilen bir mikrometre dayalı geyici (dial-gauge) veya başka bir alet monte edilmelidir.
- (e) Numunenin kabarma süresince (± 1 %) 5 kPa'lık basınçla besleyebilmek için kütle veya ölü kütle ve kaldırma sistemli yükleme aleti. Kuvvet, geçirgen plakanın düz kalabilmesi için aletin katı sert kısmına uygulanmalı, üst geçirgen plakanın dönebilmemesi için küresel bir yuva olmalıdır. Geçirgen

plakanın düz kalabilmesi için kuvvet aletin sert kısmına uygulanmalı, üst geçirgen plakanın dönebilmesi için küresel bir yuva olmalıdır.

3. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

- (a) Başlangıçtaki doğal su içeriği koşullarında deney yapılması için, hazırlanan numunenin su içeriği arazideki değerinin ($\pm 1 \%$) içinde olmalıdır. Birisi su içeriğinin belirlenmesi ve diğeri kabarma testi için aynı örnekten çift numune hazırlanmalıdır.
- (b) Başlangıç su içeriği suni kontrolla yapılan deneyler için, hazırlanan örnek sabit nemli ortamda denge kütle durumuna getirilebilir. Daha sonra, birisi su içeriğini ve diğeri kabarma testi için aynı örnekten çift numune hazırlanmalıdır.
- (c) Nümunenin geometrisi dik silindir geometrisine benzer olmalıdır. Kalınlığının 2.5 katından daha az olmayan bir çapta olmalıdır. Maksimum tane çapının on katı veya 15 mm'den büyük veya bunlardan hangisi büyük ise o kalınlıkta olmalıdır. Nümune yüzüğün içine çok iyi uymalıdır.
- (d) Tabakalanma ve yapraklanma eğimi nümune eksenine göre ölçülmelidir.

4. YÖNTEM

- (a) Nümunenin başlangıç kalınlığı ve çapı ($\pm 0.1 \%$) kaydedilir.
- (b) Düzenek birleştirilir, ve nümune 3 kPa'lık ek basınçla eksenel yükleme yapılır.
- (c) Sonra üst geçirgen plakayı kapatacak şekilde hücre su ile doldurulur ve kabarma kuvveti geçen zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir.

- (d) Kabarma hareketi maksimumu geçinceye veya sabit bir seviyeye ulaşınca kadar kaydedilmeye devam edilmelidir.

5. HESAPLAMA

Kabarma gerinim indeksi şu şekilde hesaplanır:

$$\text{Kabarma gerinim indeksi} = \frac{d}{L} \times 100 \%$$

Burada;

d = Test süresince kaydedilen maksimum kabarma hareketi;

L = Nümunenin başlangıçtaki kalınlığı.

6. RAPOR

Her örnekte en az üç nümune için sonuçlar verilmelidir. Raporda nümunenin deney süresince radial sıkıştırıldığı açıkça belirtilmelidir. Rapor her nümune için aşağıdaki bilgileri kapsamalıdır.

- (a) Kabarma gerinim indeksi.
- (b) Nümunenin başlangıçtaki su içeriği; bu doğal su içeriğine karşılık gelip gelmediği, eğer deneyden önce depolanmış ise depolama yöntemi.
- (c) Nümune eksenine göre tabakalanma veya yapraklanmanın eğimiyle birlikte nümunenin çapı ve kalınlığı.

3. SIKIŞTIRILMAMIŞ KAYAÇ NUMUNESİNDE OLUŞAN KABARMA GERİMİNİN BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

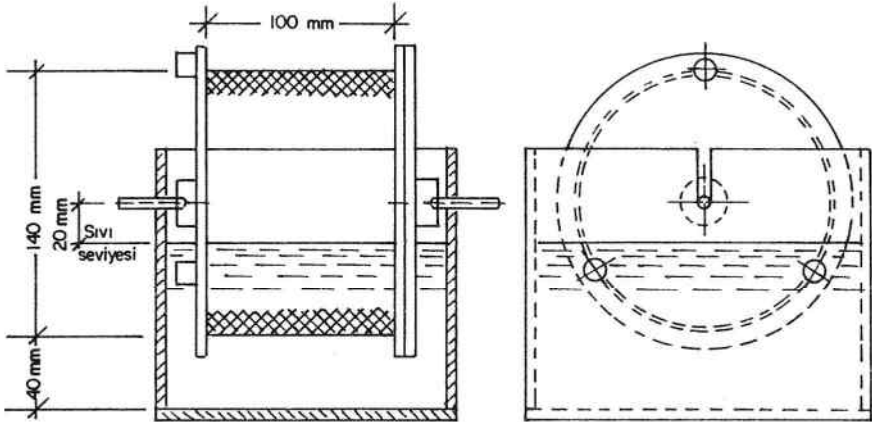
1. AMAÇ

Bu deneyin amacı, su zedelenmemiş kayaç numunesinin suya tabi sıkıştırılmadan oluşan kabarma gerimimini ölçmektir. Bu deney yalnız, suya tutulduğunda karşı farkedilir derecede geometrisini değiştirmeyen nümuneler için uygulanmalıdır. Az dayanıklı kayaçlar sıkıştırılmış kabarma deneyi kullanılarak daha iyi test edilir.

2. DÜZENEK

Düzenek asıl olarak şunları içerir;

- (a) Nümune düzeneğini içine alan ve nümunenin üzerini kapatabilecek kadar su alabilen bir hücre. Hücrenin ana hatları ve nümune düzeneği Şekil 3'de gösterilmiştir.



Şekil 3. Sıkıştırılmamış Deneyler İçin Hücre ve Numune Düzeneği.

- (b) Nümunenin merkez eksenine yerleştirilmiş kabarma hareketini 0.0025 mm'ye kadar hassas okuyabilen bir mikrometre dayıl geyic (dial-gauge) veya başka bir alet. Buna ek olarak, birinci dayıl geyice dik yönlerdeki kabarma hareketlerini aynı anda ölçmek için başka dayıl geyicler de kullanılabilir.
- (c) Suya dayanıklı bir yapışkanla numuneye yapıştırılan camdan plakalar veya başka sert bir malzemede olabilir. Bu tabakalar numunenin suya maruz kalan alanına kıyasla daha küçük olmalı ve geyiclerin olduğu kısma yerleştirilip, numuneye dış yapmasını önlemek için çok güzel monte edilmelidir.

3. DENEY NUMUNELERİNİN HAZIRLANMASI

- (a) Başlangıçtaki doğal su içeriği koşullarında deney yapılması için, hazırlanan numunenin su içeriği arazideki değerinin ($\pm 1\%$) içinde olmalıdır. Birisi su içeriğinin belirlenmesi ve diğeri kabarma testi için aynı örnekten çift numune hazırlanmalıdır.
- (b) Başlangıç su içeriği suni kontrolla yapılan deneyler için, hazırlanan örnek sabit nemli ortamda denge kütle durumuna getirilebilir. Daha sonra, birisi su içeriğini ve diğeri kabarma testi için aynı örnekten çift numune hazırlanmalıdır.
- (c) Nümunenin geometrisi dik silindir geometrisine benzer olmalıdır. Kalınlığının 2.5 katından daha az olmayan bir çapta olmalıdır. Maksimum tane çapının on katı veya 15 mm'den büyük veya bunlardan hangisi büyük ise o kalınlıkta olmalıdır. Nümune yüzüğün içine çok iyi uymalıdır.
- (d) Tabakalanma ve yapraklanma eğimi nümune eksenine göre ölçülmelidir.

4. YÖNTEM

- (a) Geyic noktaları nümunenin eksen veya eksenleri ile çakışacak şekilde işaretlenir. Başlangıç nümune boyutları bu geyic noktaları arası ($\pm 0.1 \%$) hassasiyetten daha iyi bir şekilde ölçülür.
- (b) Cam plakalar her geyic noktasında yerleştirilir ve düzenek birleştirilir. Nümune yalnızca, nümune eksenini üzerindeki geyic noktalarında tahkim edilir, beslenir.
- (c) Nümune yi kapatacak şekilde hücre su ile doldurulur ve deplasmanlar zamanın fonksiyonu olarak kaydedilir.
- (d) Kabarma hareketi maksimumu geçene ulaşınca veya sabit bir seviyeye kadar kaydedilmelidir.

5. HESAPLAMA

Ölçümün her yönü için sıkıştırılmamış kabarma gerinimi, şu şekilde hesaplanır;

$$\text{X yönündeki sıkıştırılmamış kabarma gerinimi} = \frac{d}{L} \times 100 \%$$

Burada;

X yapraklanma veya tabakalanmaya bağunlu yön

d = Deney süresince X yönünde kaydedilen maksimum kabarma hareketi

L = X yönündeki geyic noktaları arasındaki başlangıçtaki mesafe

6. RAPOR

Her örnekte en az üç numune için sonuçlar verilmelidir. Raporda test süresince nümunenin radyal sıkıştırılmadığı açıkça belirtilmelidir.

Rapor her nümune için aşağıdaki bilgileri kapsamalıdır:

- (a) Sıkıştırılmamış kabarma gerinimleri ve tabakalanmaya veya yapraklanmaya göre bunların yönleri.
- (b) Nümunenin başlangıçtaki su içeriği; bu doğal su içeriğine karşılık gelip gelmediği, eğer deneyden önce depolanmış ise depolama metodu.
- (c) Nümunenin başlangıçtaki şekli ve boyutları.
- (d) Suyu maruz kaldığı süreçte gözle görülebilen bozulmaların tanımı.

4. SUDA DAĞILIM DAYANIM İNDEKSİNİN BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

1. AMAÇ

Bu deneyin amacı, kayaç örneğinin standard iki devir kurumaya ve ıslanmaya maruz kaldığı zaman parçalanmaya ve zayıflamaya karşı koyduğu direnci belirlemektir.

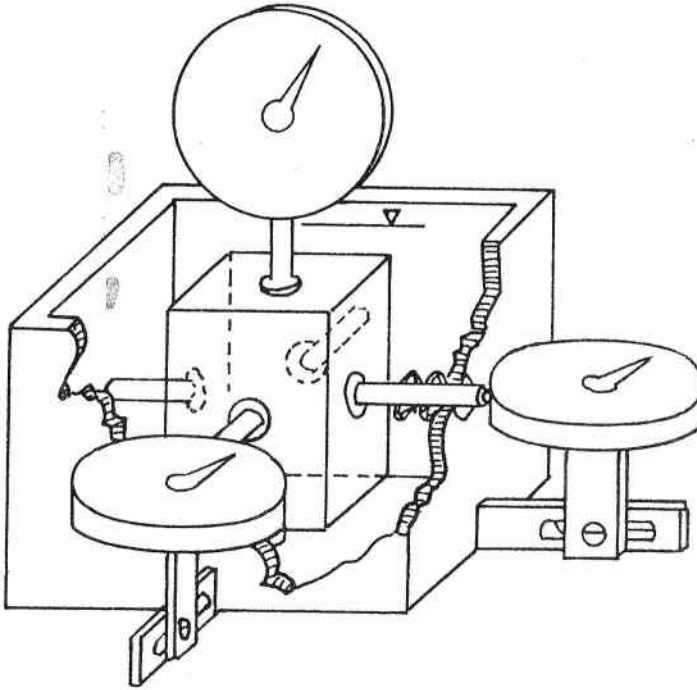
2. DÜZENEK

Düzenek asıl olarak şunları içerir:

- (a) Sabitleştirilmiş sert tabanlı, 140 mm. çapında, uçları kapatılmamış 100 mm. uzunluğunda, 2.00 mm. standard meş* elekli silindirik deney tanburu. Tanbur 105°C'ye kadar dayanıklı olup, ayrılabilir kapağı olmalıdır. Tanbur kullanım süresince şeklini muhafaza edecek sağlamlıkta olmalı, fakat meşin içinden ya da dışından engel olabilecek gibi takviye elemanlarıyla beslenmemelidir.

* International Standard Organization R 565 Woven Wire Cloth and Perforated Plates in Test Sieves (1967).

- (b) Tanbur ekseninin 20 mm. alt seviyesine kadar su alabilecek serbestçe dönebilen yatay eksenle tahkim edilen deney tanburunu içine alabilen bir kutu tanbur kutu içerisine yerleştirildiğinde meş ile kutu tabanı arasında 40 mm'lik bir açıklık olmalı kutu ve tanbur düzeneğinin ana hatları Şekil 4 'de gösterilmiştir.



Şekil 4. Suda Dağılım Dayanım Deney Düzeneğinin Kritik Boyutları

- (c) Tanburun 20 rpm hızla dönmesini sağlayabilecek motor gücü, 10 dakika süresince hızını $\pm 5\%$ içinde sabit tutabilmeli.
- (d) En az 12 saat boyunca 3°C 'den 105°C 'ye kadar sıcaklık sağlayabilecek bir fırın.

- (e) Tanbur ve nümuneyi 0.5 g'lık hassasiyetle ölçebilecek bir terazi.

3. YÖNTEM

- (a) Her biri 40-60 g gelebilen toplam 450-550 g kayaç örneğinin benzeri olacak 10 tane kayaç parçası seçilir. Maksimum kayaç tane boyutu 3 mm'den fazla olmamalı. Bu parçalar küresel şekilde olmalı, köşeler numunelerin hazırlanışı esnasında yuvarlaklaştırılmalı.
- (b) Örnek temiz bir tambura yerleştirilmeli ve sabit bir kütlede 105°C sıcaklıkta kurutulmalı, genellikle 2'den 6 saat kadar fırında kalması gerekir. Tamburun kütlesiyle örneğin kütlesi ölçülür (A). Soğutulduktan sonra numune deney yapılabilir.
- (c) Tamburun kapağı yerine konur, tanbur kutu içine yerleştirilir ve çalıştırılır.
- (d) Kutu genelde 20°C 'lik normal musluk suyu olan sıvı ile tanbur ekseninin 20 mm altındaki seviyeye kadar doldurulup ve tanbur 0.5 dakikalık hassasiyetle 10 dakika süresince 200 devir yapacak şekilde döndürülür.
- (e) Tanbur tekneden alınır, kapak çıkarılır, tanbur ve kalan örnek 105°C 'de sabit kütlede kurutulur. Tamburun kütlesi artı örneğin kurutulmuş kalan kısmı tartılır (B).
- (f) (c) - (e) basamakları tekrar edilir ve tanbur ile tanbur içerisindeki örneğin kalan kısmı tartılır (C).
- (g) Tanbur fırça ile temizlenir ve boş tanburun kütlesi tartılır (D).

4. HESAPLAMA

Suda dağılım, indeksi (ikinci aşama) en son kalan kütle başlangıçtaki kuru örnek kütleyle oranı olarak şu şekilde hesaplanır.

$$\text{Suya Dayanım İndeksi } I_{d2} = \frac{C - D}{A - D} \times 100 \%$$

5. RAPOR

Rapor her numune için aşağıdaki bilgileri içermelidir.

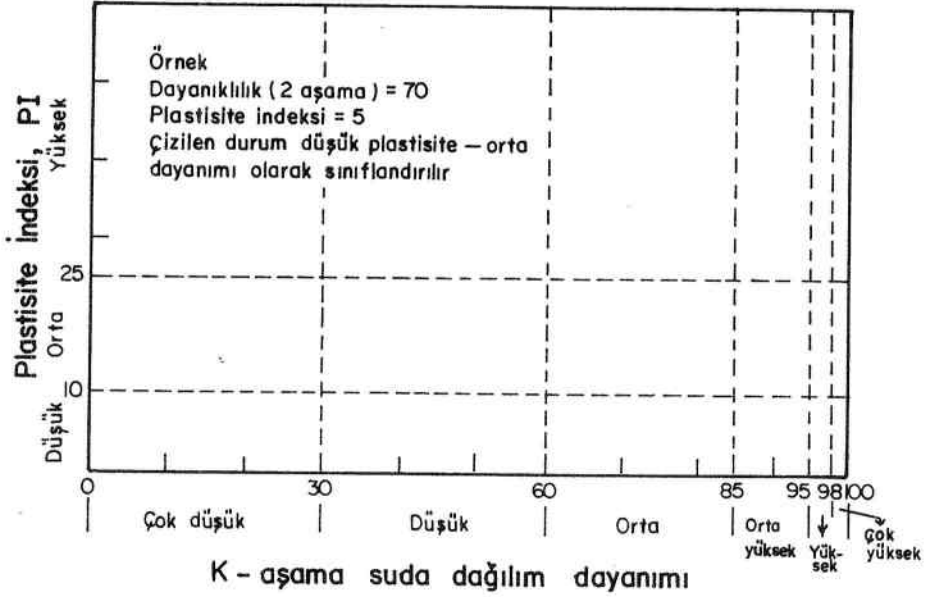
- (a) 0.1 %'e yakın suya dayanım indeksi (ikinci aşama).
- (b) Kullanılan sıvının yapısı ve sıcaklığı; genellikle 20°C 'de musluk suyudur, fakat damıtılmış su, doğal yer suyu, deniz suyu, sulandırılmış asit veya dağıtıcı vasıtalar varsa belirtilmelidir.
- (c) Tanburda kalan parçaların görünümü.
- (d) Tanburdan geçen malzemelerin görünümü.

6. NOTLAR

Yukarıdaki dördüncü paragraf içinde 20° C'lik musluk suyu ile yapılp hesaplanan ikinci aşama suda dağılım dayanım indeksi kaya sınıflandırılması için kabul edilebilir. Fakat, 0'dan 10 % 'a kadar ikinci aşama indeksli nümuneler birinci aşama suda dağılım indeksleri ile aşağıda gösterildiği gibi daha da karakterize edilebilir.

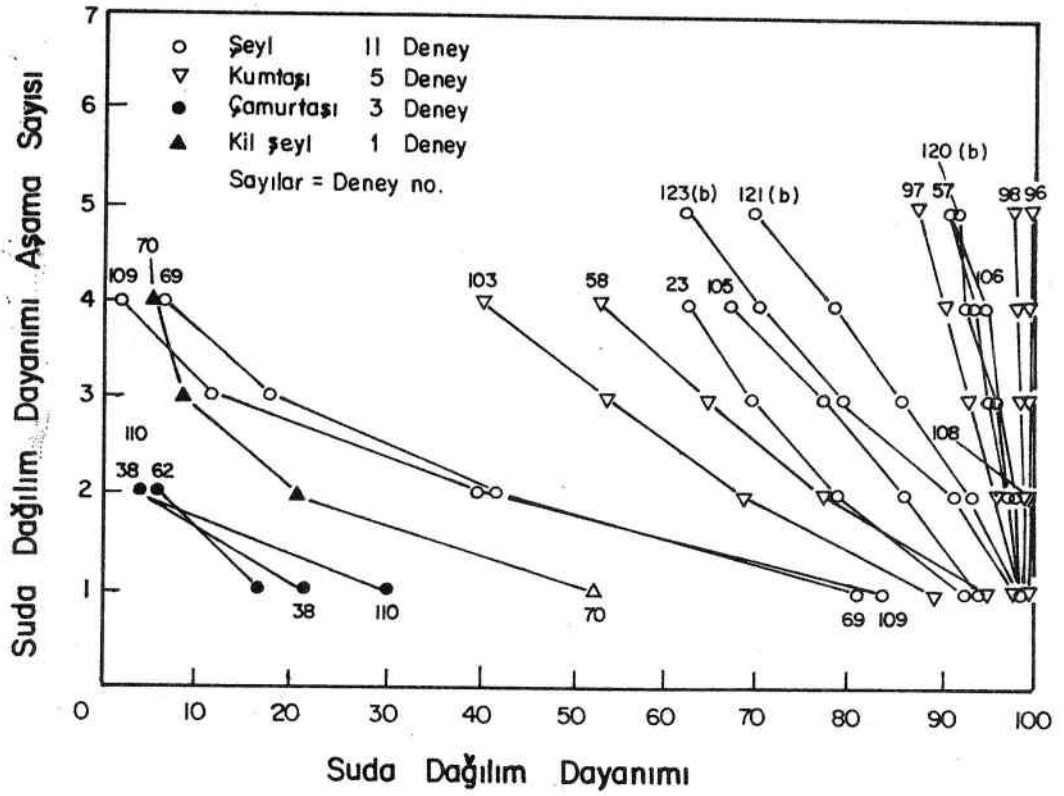
$$\text{Suda Dağılım Dayanım İndeksi } I_{d2} = \frac{B - D}{A - D} \times 100 \%$$

Çok dayanıklı kayaları değerlendirirken indekslerin üç veya daha fazla suya maruz kalmasına ve kurulama sonra alınması daha uygun olabilir (Şekil 5).



Şekil 5. Suyla Maruz Kalma Aşamalarının Suda Dağılım Dayanımı Üzerine Etkisi
(Gamble, 1971)

7. Düşük suda dağılım dayanım sonuçları veren kayalar Atterberg limitleri veya sedimantasyon-boyu analizi gibi toprak sınıflandırma deneylerine tabi tutulmalıdır. Özellikle argiliasius kayaları gibi daha fazla karakterize edilmesi gereken durumlarda suda dağılım dayanım indeksi ile plastisite indeksinin birleştirildiği sınıflandırma önerilir (Şekil 6).



Şekil 6. Önerilen Dayanıklılık - Plastisite Sınıflandırması (Gamble, 1971)

KAYNAKLAR

1. Alpan I. An apparatus for measuring the swelling pressure in expansive soils Proc. 4th Int. Conf. Soil Mech. Fdn. Eng. 1, 35 (1957).
2. American Society for testing and Materials, Procedures for testing soils (1964).
3. Badger C. W. Cummings A.D. & Whitmore R.L. The disintegration of shales in water. J. Inst. Fuel. 29, 417-423 (1956).
4. Birch N. In Keuper Marl research. Univ. Birmingham Dept. Transportation. Materials Section Interim Rept. (1964)
5. Brekke T.L. On the measurement of the relative potential swellability of hydrothermal montmorillonite clay from joints and faults in Precambrian and Paleozoic rocks in Norway Int. J. Rock Mech. Min. Sci. 2, 155-165 (1965).
6. British Standards Institution. British Standard 1377 Methods of testing soils for civil engineering purposes (1967).
7. De Puy G. W. Petrographic investigations of rock durability and comparisons of various test procedures. J. Am. Assoc. Eng. Geol. 2, 31-46 (1965).
8. Duncan N., Dunne M. H. & Petty S. Swelling characteristics of rocks. Water Power. May pp. 185-192 (1968).
9. Eigenbrod D. Quantitative slaking test for mudstones. Univ. Alberta Dept. Civ. Eng. Internal Note SM 5 (1969).
10. Franklin I. A. Observations and tests for engineering description and mapping of rocks. 2nd Int. Cong. Rock Mech. Belgrade (1970).

11. Franklin J.A. Classification of rock according to its mechanical properties. Ph.D. Thesis. London University (1970).
12. Franklin J.A. Broch E. & Walton G. Logging the mechanical character of rock. Trans Inst. Min. Metall. 80, A1-A 10 (1971).
13. Franklin J.A. & Chandra R. The Slake-Durability test. Int. J. Rock. Mech. Min. Sci. 9, 325-341 (1972).
14. Gamble J.C. Durability-plasticity classification of shales and other argillaceous rocks Ph.D. Thesis, University of Illinois (1971).
15. Gizienski S.F. & Lee L.J. Comparison of laboratory swell tests to small scale field tests. Proc. int. Res: Eng. Conf. on Expansive Clay Soils. Texas, pp. 108-119 (1965).
16. Kazda J. Study of the swelling pressure of soils. Proc. 5th Int. Conf. Soil Mech. Fedn Eng. 1, 140-142 (1961).
17. Ladd C.C. & Lambe W.T. The identification and behaviour of compacted expansive clays. Proc. 5th Int. Conf. Soil Mech. Fedn Eng. 1, 201-205 (1961).
18. Murayama S. & Yagi N. Swelling of mudstone due to sucking of water. Proc. 1st Int. Cong. Rock Mech. Lisbon 1, 495-498 (1966).
19. Nakano R. on weathering and change of properties of tertiary mudstone related to landslide. Soil and Foundation 7, No.1, 1-14 (1967).
20. Nascimento U., Oliveira R. & Graca R. Rock swelling test. Proc. Int. Symp. Rock. Mech. Madrid (1968).
21. Parry H.G. Classification tests for shrinking and swelling soils. Civ. Eng. & Public Works Rev. June pp. 719-721 (1966).

22. Salas J.A.J & Serratos J.M. Foundations on swelling clays. Proc. 4th Int. Conf. Soil Mech. Fdn. Eng. 1, 424-428 (1957).
23. Sampson E., Schuster R.L. & Budge W.D.A. method for determining the swell potential of an expansive clay. Proc. Int. Res. & Eng. Conf. on Expansive Clay Soils. Texas, pp. 255-275 (1965).
24. Seed H.B. Prediction of swelling potential for compacted clays. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. SM 3, pp. 53-87 (1962).
25. Underwood L.B. Classification and identification of shales. Proc. Am. Soc. Civ. Eng. SM 6, pp. 97-116 (1967).

KAYALARIN SERTLİK VE AŞINABİLİRLİKLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN
ÖNERİLEN YÖNTEMLER *

Çeviren : Bülent ERDEM *
Bölüm 1 : GİRİŞ VE ÖZET

AMAÇ

Bu yazıda anlatılan yöntemin amacı yakın geçmişte kullanılmaya başlanan deneylerden bahsetmek ve bunları gözden geçirmektedir. Günümüzde yaygın olarak kullanılan metodlar "Önerilen Yöntemler" adıyla anılmaktadır. Halen özellikle delinebilirlik ve makina ile delinebilirlik alanlarında aktif olarak yürütülen araştırmalar yüzünden, bu dökümanın gelecek revizyonuna diğer çalışmaların da dahil edileceği umulmaktadır.

TANIMLAR

Kayaların sertlik ve aşınabilirlikleri, bunları oluşturan çeşitli minerallerin tip ve miktarları ile mineral taneleri arasındaki bağların dayanımına bağlıdır. Her bir özellik için olan testler arazi deneyimlerinin simülasyonu veya korelasyonu için geliştirilmiştir. Günümüzde kayalar için kullanılan deneyler, daha önce karayolu malzemeleri, beton ve metaller için yapılan deneylerden adapte edilmiştir.

Geçmişte bu konuda önemli oranda araştırma yapılmakla birlikte günümüzde kayaların bu gibi özelliklerini göz önüne alan araştırmalar da yapılmaktadır. Birçok araştırma çalışmasında geliştirilen deney metodları diğer organizasyonlarca değerlendirilmemiş veya pratik uygulamada kullanılmamıştır. Geliştirilen çoğu deney, ya ticari bir firma veya devlet kuruluşu tarafından ya da kısıtlı coğrafik bir bölgede uygulanmaktadır.

AŞINMA VE AŞINABİLİRLİK

Aşınma deneyleri kayaların yıpranmaya karşı direncini ölçer. Bu deneyler, aşındırıcı bir malzemeye maruz kalındığında, bir metalle temas halinde olunduğunda veya iki kaya birbiriyle kontak halinde iken meydana gelen aşınmayı içerirler. Aşınma deneyleri aynı zamanda bir kaya ile kontak halinde olan metal parçaları üzerindeki (mesela tünel açma makinasındaki kesiciler) aşınmayı da ölçebilirler. Bu deneyler üç kategoriye ayrılabilir;

* Rock Characterization Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, Editor: E.T. Brown, 1981, pp.95-105, Pergamon Press.

* Maden Yük. Müh., ODTÜ Maden Mühendisliği Bölümü, 06531, ANKARA.

1. Darbeli aşındırıcı yıpranma testleri,
2. Basınçlı aşındırıcı yıpranma testleri,
3. Sürtünme testleri.

1. Darbeli aşındırıcı yıpranma testleri

- a. Los Angeles aşınma testi [1,2]. Karayollarında kullanılan agregalar için geliştirilen bu deneyde numune, kaya parçaları arasında aşınmaya ve aşındırıcı çelik bilyeler tarafından oluşturulan darbe yüklerine yol açan bir sürtünmeye tabi tutulur.
- b. Kum bombardımanı testi. Test numunesinin yüzeyi belirli koşullar altında silika kumu veya alüminyum oksit taşıyan hava bombardımanı ile aşındırılır. Kayanın ağırlık kaybı veya aşınma derinliği onun aşınmaya karşı direncinin bir ölçüsü olarak alınır. Yapı malzemelerinin değerlendirilmesi bu yöntemin ana uygulama alanlarından biridir [3].
- c. Burbank testi. Bu test, bir kaya numunesinin madenlerde kullanılan ekipmanlarda veya kırıcılarda bulunan metal kısımlar üzerindeki göreceli aşındırma etkisinin belirlenmesi için tasarlanmıştır [4]. Test edilecek alaşımdan yapılan metal bir pedal dakikada 74 devirle dönen ve içinde kaya parçaları bulunan bir tamburun içinde ters yönde dakikada 632 devir yapacak şekilde çevrilir. Bu test pedalın üzerinde yüksek hızlı bir darbe ve çabuk bir yıpranma sağlar.

2. Basınçlı aşındırıcı yıpranma testleri

- a. Dorry testi [5]. ASTM Deney no C-241-51 ve Değiştirilmiş Dorry testi (İngiliz standartları no BS-812). Bu testler bir kaya numunesinin dönen bir diske bastırılmasından oluşur. Kaya ile çelik yüzey arasına beslenen silika kumu veya alüminyum oksit tozu aşındırıcı araç görevi görür.
- b. Uç aşınma testleri. Kayaların aşınmaya karşı dirençlerini ölçmek için belirli koşullar altında belli bir süre boyunca veya belli uzunluktaki standart delme uçlarında oluşan aşınmayı ölçen birçok test tasarlanmıştır [6-8]. Bu testler aynı zamanda delinebilirlik ölçüsü olarak da kullanılabilirler.
- c. Bir kayanın aşınmaya karşı direnci ve diğer malzemeler üzerindeki aşındırıcı etkisi değiştirilmiş Taber Aşındırıcı Model 143 ile belirlenmektedir [9]. Kenarı 6 mm. kalınlığında olan NX tipi bir karot kendisine karşı 250 g. ağırlıkla yüklenen aşındırıcı bir diskte 400 'tur döndürülür. Çıkan talaş devamlı olarak bir vakumla emilir. Kayadaki ağırlık kaybı onun aşınmaya karşı direncinin bir ölçüsü ve aşındırıcı diskin ağırlık kaybı ise kayanın aşındırabilirliğinin bir ölçüsü olarak alınır. Bu testler sertlik verileriyle beraber tünel açma makinalarının delnebilirliklerini tahmin etmede kullanılmaktadır [9].

3. Sürtünme testleri

Sürtünme, bir yüzeyin kendisi üzerinde sürtünen başka bir yüzeyin hareketine karşı gösterdiği direnç olarak tanımlanabilir. Aşınma; darbe, basınç veya farklı ve sabit olarak daha yüksek sertlikteki üçüncü bir elemanın tesiri olmadan meydana gelir. Los Angeles testinde kullanılan ve aşındırıcı özellikteki çelik bilyelerin olmadığı, kaya parçalarının ağır bir hızla yuvarlandığı Deval testi kaya sürtünmesinin belirlenmesini sağlar. Ancak bu test günümüzde yaygın olarak kullanılmamaktadır.

SERTLİK

Sertlik, temel bir malzeme özelliğinden çok bir malzeme davranışı kavramıdır. Sonuçta, sertliğin nicel olarak ölçümü kullanılan test metodunun tipine bağlıdır. Kaya ve minerallerin sertliklerini ölçmek için üç test metodu kullanılmıştır:

1. Çentikleme testleri,
2. Dinamik veya geri tepme testleri,
3. Kazıma testleri.

1. Çentikleme testleri

Brinell ve Rockwell testleri metaller üzerinde kullanılan tanınmış deneylerdir ancak, kırılğan olmaları yüzünden kayalara uygulanamazlar. Knoop [10] ve Vickers [11] testleri bireysel olarak kaya minerallerinin mikrosertliklerini belirlerler. Piramit şeklindeki bir elmas, bir yüzey üzerine belirli bir yük uygulayarak bastırılır. Geriye kalan kalıcı deformasyon alanının uygulanan güce bölümü sertliğin bir ölçüsü olarak alınır. Knoop testi ile kristallerin yöne bağlı sertlikleri belirlenebilir.

2. Dinamik veya geri tepme testleri

Bu testlerde deney yapılacak numuneye çarpmak için hareketli bir çentikleyici kullanılır. Darbe tarafından üretilen herhangi plastik veya akıcı bir malzeme davranışı, çentikleyiciyi geri tepecek elastik enerjiyi azaltır. Geri tepme yüksekliği malzeme sertliğinin bir ölçüsü olarak alınır.

"Shore scleroscope" numuneler üzerinde küçük bir elmas uçlu çentikleyici düşürerek ve geri tepme yüksekliğini ölçerek sertliği belirleyen bir laboratuvar test aletidir. Elmas çentikleyici ucunun küçüklüğü ve çoğu kayanın homojen tabiatı olmaması nedeniyle, belli bir kayanın ortalama sertliğini saptamak için çok sayıda geri tepme deneyi yapmak gereklidir.

Başlangıçta betonun tek eksenli basma dayanımını belirlemek için geliştirilen Schmidt darbe çekici daha sonra kayaların sertliklerini saptamak için kullanılmıştır. Arazi ve laboratuvar da kullanılabilen bu düzenek, kaya yüzeyiyle temas halinde olan metal bir örse karşı yöneltilmiş olan yayla yüklenmiş bir pistonun oluşur. Pistonun geri tepme yüksekliği, sertliğin ampirik bir ölçüsü olarak alınır.

3. Kazıma testleri

Kazıma testleri minerallerin sertliklerini belirlemek için yaygın olarak kullanılır. 1822 yılında Mohs tarafından önerilen sertlik ölçeği halen kullanım gören bir kazıma testidir. Sertliğin daha nicel bir ölçümünün sağlanması girişimi, numuneleri kazımak için daha keskin elmas uçlu kazıma sklerometrelerinin geliştirilmesine yol açmıştır. Talmage ve Bierbaum [12] aygıtları en çok bilinen kazıma sklerometreleri arasındadır.

KAYNAKLAR

1. ASTM Standart No C131 - 69,
2. ASTM Standart No C535 - 69,
3. ASTM Standart No C418 - 68,
4. Burbank, B.B., "Measuring the Relative Abrasiveness of Rock Minerals and Ores", Pit & Quarry, pp. 114-118, August 1955,
5. Obert, L., Windes, S.L. and Duval, W.I., "Standardized Test for Determining the Physical Properties of Mine Rock, U.S. Bur. Mines Rep. Invest., RI 3891, (1946),
6. Selmer-Olsen, R. Blindheim, O.T. "On the Drillability of Rock by Percussive Drilling", Proc. 2nd Cong. Int. Soc. Rock Mech., Beograd (1970),
7. White, C.G., "A Rock Drillability Index", Colo. Sch. Mines Q., 64, No.2, 1-92 (April 1969),
8. Goodrich, R.H., "Drag Bits and Machines", Colo. Sch. Mines Q., 56, No.1, 1-21 (1961),
9. Tarkoy, P.J., "A Study of Rock Properties and Tunnel Boring Machine Advance Rates in Two Mica Schist Formations", 15th. Symp. Rock Mech., Custer State Park, South Dakota (September 1973),
10. Winchell, H., "Observations on Orientation and Hardness Variations", Am. Miner, 31, Nos. 3-4, 149-152 (1946),
11. Das B. Vicker's Hardness Concept in the Light of Vicker's Impression, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr., 11, 85-89, (1974),
12. Williams, S.R., "Hardness and Hardness Measurements", 101-132, American Soc. for Metals, Cleveland (1942).

ÖNEMLİ NOTLAR

1. Bu dökümanda belirtilen birimler geleneksel metrik sistemin bir uzantısı ve rafine edilmiş şekli olan "Système International d'Unites (S.I.)" 'a uygun olan modern metrik birimlerdir.

Uzunluk birimi - 1 metre (m) = 1000 mm;
Kütle birimi - 1 kilogram (kg) = 1000 g;
Güç birimi - 1 newton (N) = kg m/s²;
Gerilim birimi - 1 paskal (Pa) = N/m².

2. "Virgül" bütün metin boyunca ondalık işareti olarak kullanılmıştır.

Bölüm 2 : LOS ANGELES CİHAZIYLA AGREGALARIN AŞINMAYA KARŞI DİRENÇLERİNİN BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

KAPSAM

Bu yöntem agregaların aşınmaya karşı dirençlerinin Los Angeles cihazıyla test edilmesinde kullanılan yöntemleri kapsar. Kullanılan aşındırıcı malzeme şarjı ve test numunesi, çakıl boyutu ve sınıflandırılmasına bağlıdır.

CİHAZ

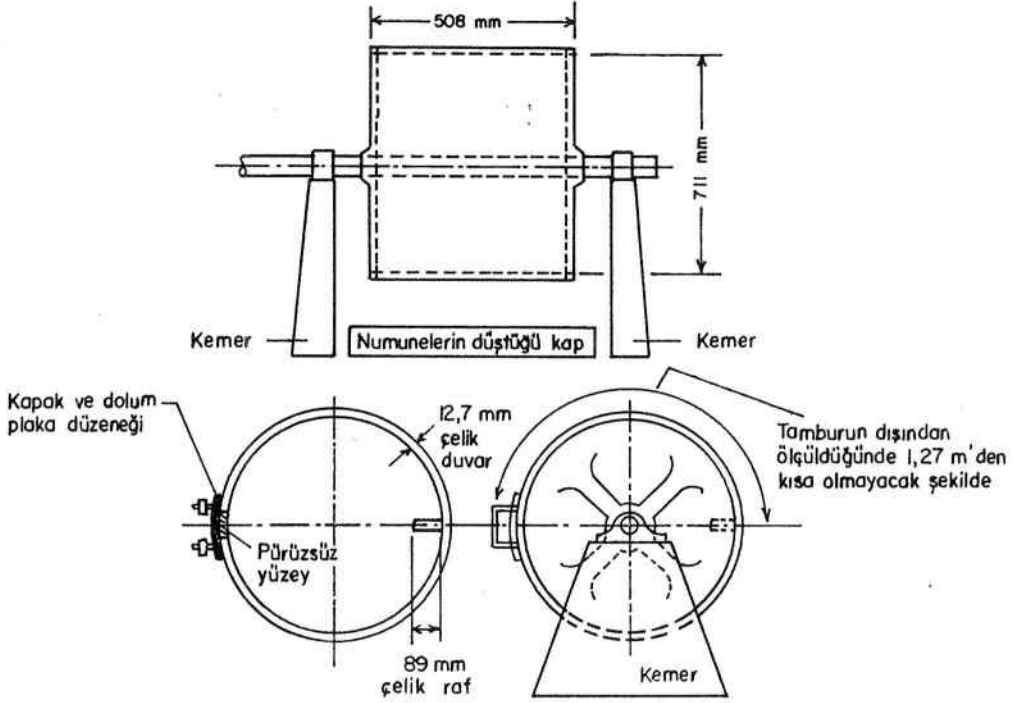
a. Los Angeles Makinası

Deney boyunca Şekil 1'de gösterilen bütün gerekli tasarım karakteristiklerine uyan Los Angeles aşınma makinası kullanılmalıdır. Makina, iç çapı 711 ± 5 mm ve iç uzunluğu 508 ± 5 mm olan iki tarafından kapalı boş çelik bir silindirden oluşur. Silindir, köşelerinden silindire tutturulan, ancak içeri uzanmayan saftların üzerine yatay ekseninde en fazla $1/100$ ' lük bir eğilme ile dönmesine olanak sağlayacak şekilde monte edilmiştir. Silindirin üzerinde deney numunesinin konulması için bir açıklık bulunmalıdır. Açıklık için toz-geçirmez bir kapak ve bunu yerinde tutacak bir civata düzeneği sağlanmalıdır. Kapak, rafın deney sırasında şarj malzemesinin kapak üzerine düşmeyeceği veya silindirin iç yüzeyinin konturunu bozmayacağı şekilde tasarlanmalıdır. Silindir boyunca uzanan ve içeriye doğru 89 ± 2 mm çıkıntı veren takılıp-çıkarılabilir çelik bir raf silindirin veya kapağın iç yüzeyine geniş yüzeyler arasında merkezlenen bir düzlemin aksenal bir düzlemle çakışacağı şekilde monte edilmelidir. Çelik raf, belirli bir kalınlıkta sağlam ve dayanıklı olacak şekilde civata veya diğer yollarla monte edilmelidir. Rafın pozisyonu, raftan açıklığa kadar olan aralığın silindirin dış çevresi boyunca dönüş yönünde ölçüldüğünde $1,27$ m'den kısa olmayacak şekilde ayarlanmalıdır. Raf aşınmaya dayanıklı çelikten yapılmalı ve dikdörtgen kesitli olmalıdır.

b. Terazî

Bu deney için deney yükünün binde biri hassasiyetteki bir terazî veya tartı aracı gereklidir.

c. 38 mm'den küçük olan kaba agregalar için numuneler Tablo 2'de belirtildiği gibi yeniden birleştirilmeli ve aşındırıcı şarj seçilmelidir.



Şekil 1. Los Angeles Aşınma Test Makinası

Tablo 1. Deney Numunelerinin Sınıflandırılması *

Elek Boyu, mm (Kare Açıklıklar)		Belirtilen Boyutların Ağırlıkları, g Sınıflandırma		
Geçen	Elekte Kalan	1	2	3
75,0 mm	63,0 mm	2500±50	-	-
63,0 mm	53,0 mm	2500±50	-	-
53,0 mm	38,0 mm	5000±50	5000±50	5000±25
38,0 mm	25,4 mm	-	5000±25	5000±25
25,4 mm	19,0 mm	-	-	10000±50
	TOPLAM	10000±100	10000±75	10000±50

* 19 mm'den daha kaba agregalar

Tablo 2. Deney Numunelerinin Sınıflandırılması *

(Kare Açıklıklar) Elek Boyu, mm		Belirtilen Boyutların Ağırlıkları, g Sınıflandırma			
Geçen	Elekte Kalan	A	B	C	D
38,0 mm	25,4 mm	1250±25	-	-	-
25,4 mm	19,0 mm	1250±25	-	-	-
19,0 mm	13,2 mm	1250±10	2500±10	-	-
13,2 mm	9,5 mm	1250±10	2500±10	-	-
9,5 mm	5,6 mm	-	-	2500±10	-
5,6 mm	4,7 mm	-	-	2500±10	-
4,7 mm	2,3 mm	-	-	-	5000±10
	TOPLAM	5000±10	5000±10	5000±10	5000±10

* 38 mm'den daha küçük kaba agregalar

YÖNTEM

- Test numunesi ve aşındırıcı şarj malzemesi Los Angeles aşınma deneyi düzeneğine yerleştirilir ve silindir 30-33 devir/dak. hızda çevrilir. Devir sayısı 38 mm'den küçük olan agregalar için 500, 19 mm'den büyük olan agregalar için ise 1000 olmalıdır. Düzenek, üniform bir çevresel hızı korumak için dengelenmiş olmalıdır. Raf olarak aç verilmiş bir çelik kullanılırsa, dönüş, aşındırıcı malzemenin rafın dış yüzeyinde yakalandığı yönde olmalıdır.
- Belirli sayıdaki dönüşten sonra malzeme makineden boşaltılır ve 1,7 mm'den daha kaba bir elekte (no. 12 US) ön eleme yapılır. İnce kısım 1,7 mm'lik elekte elenir. 1,7 mm'den daha kaba olan malzeme önce yıkanır, daha sonra 105°C - 110°C sıcaklığa gelmesi kadar fırında ısıtılır ve en yakın gram'a kadar tartılır.
- Teste tabi tutulan numunenin üniformitesi ile ilgili değerli bilgiler 500 devrin gerektirdiği durumlarda 100 devirden sonra, ya da 1000 devrin gerekli olduğu durumlarda ise 200 devirden sonra elde edilebilir. Kayıp, 1,7 mm'lik elek boyutundan daha kaba olan malzemeyi yıkamadan belirlenmelidir. 100 veya 200 turdan sonraki kaybın 500 veya 1000 turdan sonra oluşan kayba oranı, üniform sertlikte olan bir malzeme için 0,20'yi geçmemelidir. Bu belirleme yapıldığında numunenin herhangi bir kısmı kaybedilmemeli; aşınma tozunu da içeren tüm numune deneyi tamamlamak için gereken 400 veya 800 devri yapmak için makineye geri döndürülmelidir.

HESAPLAMALAR

- a. Test numunesinin orijinal ağırlığı ve son ağırlığı arasındaki farkın orijinal ağırlığa oranı, yüzdelik olarak ifade edilmelidir. Bu değer, aşınma yüzdesi olarak rapor edilmelidir.
- b. Yöntemler bölümündeki c şıkkı takip edilirken, aşınma oranındaki Üniformite 100 veya 200 turdan sonraki kaybın 500 veya 1000 turdan sonraki kayba oranı olarak bulunur.

SONUÇLARIN RAPORLANDIRILMASI

- a. Numunenin alındığı kaynak lokasyonu ve jeolojik tanımı,
- b. Test numunesinin sınıflandırılması,
- c. Aşındırıcı malzemenin sınıflandırılması,
- d. Los Angeles aşınma yüzdesi (Hesaplamalar bölüm a),
- e. Los Angeles aşınma oranı Üniformitesi (Hesaplamalar bölüm b),

ÖNEMLİ NOTLAR

1. Bu test metodu ASTM standart deneyleri C131-69 ve C535-69'da bulunan gerekli özellikleri kapsamaktadır. 19 mm-38 mm boyut aralığında olan agregalar önerilen bu metottaki iki yöntemden herhangi birisiyle test edilebilirler. Bu boyuttaki agregalar için kullanılan yöntemler test sonuçları ile birlikte rapor edilmelidir.

2. Agregaların üzerinde yapışkan kaplamalar ve toz yoksa, deneyden önce ve sonra numuneyi yıkamak gerekmiyebilir. Deneyden sonra yıkama yapılmaması aşınma oranını nadiren % 0.2'den fazla azaltır.

3. Deneyde kullanılan elekler; ISO 56501972(E) "Test elekleri-Dokunmuş metal tel kumaş ve delikli levha - açıklıkların nominal boyutları", seri R 40/3 stardandına uygun olmalıdır.

4. Cihazın döndürme mekanizmasında meydana gelen boşluk ve kaymalar sabit çevresel hız sağlayan diğer Los Angeles aşınma makinalarında muhtemelen tekrar edilmeyen hatalara yol açabilir.

Bölüm 3: SCHMIDT GERİ TEPME SERTLİĞİNİN BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

KAPSAM

- a. Bu metod kayaların sertliklerinin belirlenmesi için kullanılan Schmidt Darbe Çekici için önerilmiştir.

- b. Metodun kullanım alanı, çok zayıf ve çok sert kayalarla sınırlıdır.

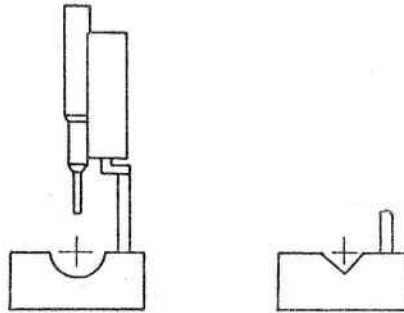
CİHAZ

Cihaz aşağıdakilerden oluşmalıdır:

- a. Deney malzemesinin sertliğini belirleyen Schmidt çekici. Çekicinin basma tulumbası (plunger) numune üzerine gelecek şekilde konur ve çekici numune üzerine bastırmak suretiyle tulumba içeri doğru itilir. Enerji, belirli bir enerji seviyesinde bulunan ve otomatik olarak bu enerjiyi basma tulumbası üzerine bir kütle olarak serbest bırakan bir yayda depolanmıştır. Kütlenin geri tepme yüksekliği bir skala üzerinde ölçülür ve bu sertliğin bir ölçüsü olarak alınır. Cihaz taşınabilir özelliktedir ve hem laboratuvarda hem de arazide kullanılabilir.

Değişik darbe enerji seviyelerinde bulunan Schmidt çekici modelleri mevcuttur. Önerilen bu metotta darbe enerjisi 0.74 Nm olan L tipi çekici kullanılmaktadır.

- b. Numunelerin emniyetli olarak tesbit edileceği en az 20 kg.'lık çelik bir kaide. Numuneler kendileriyle aynı yarıçapta ve yarı silindirik olarak işlenmiş, veya çelik bir V-tipi blok içinde test edilmelidir (Şekil 2).



Şekil 2. Karot numune tutucuları.

YÖNTEM

- a. Her deney dizisinden önce, Schmidt darbe çekici üretici tarafından bu iş için sağlanan bir kalibrasyon test örsünde kalibre edilmelidir. Test örsünde ortalama 10 okuma alınmalıdır.

- b. Laboratuvar testleri için toplanan numuneler çalışılan kayaçların göstergeleri olarak alınacaktır. Schmidt sertlik deneyleri için mümkün olduğu kadar büyük parçalar kullanılmalıdır. L tipi çekiç NX veya daha büyük boyutlu numunelerde ya da kenar uzunluğu en az 6 cm olan blok numuneler üzerinde kullanılmalıdır.
- c. Laboratuvar veya arazideki bütün numunelerin deney yapılacak yüzeyleri baskı tulumbasının kapladığı alan boyunca düzgün ve pürüzsüz olmalıdır. Bu alan ve 6 cm. derinlikteki kaya kütleğinde herhangi bir çatlak veya lokal kırık bulunmamalıdır.
- d. Laboratuvar veya arazide test edilecek küçük kaya parçaları, deney esnasında vibrasyona ve yerinden oynamaya karşı emniyet altına almak için rijit bir kaideye tesbit edilmelidir. Kaide sağlam bir destek vermesi için düzgün bir yüzey üzerinde oturtulmalıdır.
- e. Elde edilen sertlik değeri çekicinin yönlenmesi ile değişir. Çekicinin normal ekseninden $\pm 5^\circ$ sapma ile düşey yukarı, yatay veya düşey aşağı olmak üzere üç pozisyondan biri ile kullanılması önerilmektedir. Bu üç yönlenmeden birisinin bile uygun olmadığı durumlarda (mesela; dairesel bir tünelde deney yaparken) deneyler uygun bir açıda yapılmalı ve sonuçlar üretici firma tarafından sağlanan tablolar yardımıyla yatay ya da düşey pozisyona indirgenmelidir. Deneyde kullanılan çekicinin yönlendirilmesi ve yatay veya düşey olmayan yönlendirmelere uygulanan korelasyonlar kayıt edilmeli ve sonuçlarla beraber rapor edilmelidir.
- f. Herhangi bir kaya numunesi üzerinde en az 20 deney yapılmalıdır. Deney lokasyonları en az basma tulumbasının çapı kadar aralıklarla ayrılmalıdır. Bir deney numunesinin çatlamasına veya gözle görülebilecek herhangi başka bir yenilmeye yol açarsa yapılan deney iptal edilmeli ve numune atılmalıdır. Numune hazırlamasında ve deney tekniğinde yapılan hatalar düşük sertlik değerleri elde etmeye yol açar.

HESAPLAMALAR

- a. Düzeltme faktörü aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$\text{Düzeltilme faktörü} = \frac{\text{Örsün belirlenmiş standart değeri}}{\text{Kalibrasyon örsünden okunan 10 değerlerin ortalaması}}$$

- b. Numune üzerinde ölçülen deney okumaları azalan sınıflamada verilmelidir. Okumaların aşağıda kalan % 50'lik kısmı atılıp, yukarıdaki % 50'lik bölümden alınan ortalama değer düzeltme faktörüyle çarpılıp Schmidt geri tepme sertlik değeri bulunmalıdır.

SONUÇLARIN RAPORLANDIRILMASI

Test raporu aşağıdaki bilgileri içermelidir:

- Kayanın litolojik tanımı. Test edilen numunenin coğrafik lokasyonu, derinlik ve orientasyonlar.
- Numunenin tipi (karot, patlatma veya kırılmış numune). Karot veya blok numunesinin boyutları ve şekli.
- Numune alma, deney tarihleri ve saklanma koşulları (mesela; aşırı sıcaklık değişimlerine maruz kalma, havada kuruma, nem gibi),
- Çekiç ekseninin yönlendirilmesi,
- Numuneyi tesbit etme şekli (V-blok veya mengenelerle),
- Yukarıda Hesaplamalar bölümünde elde edilen Schmidt sertlik değeri.

Bölüm 4: SHORE SKLEROSKOPU İLE SERTLİK BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

KAPSAM

Bu laboratuvar metodu kaya minerallerinin Shore Skleroskopu kullanarak sertliklerinin belirlenmesi ve diğer skleroskop sertlik aygıtlarının verifikasyonu için önerilmiştir. Kaya sertliği herbir mineral tanesi üzerinde rastgele alınan okumaların ortalaması olarak elde edilebilir.

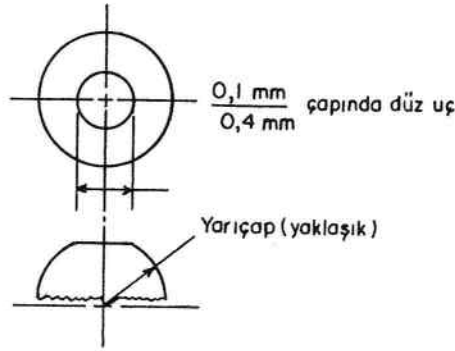
CİHAZ

Skleroskop sertlik değerlerini belirlemede kullanılan aygıtlar Model C ve D isimleriyle üretilmektedirler. Kayalarda kullanılması için Model C-2 önerilmektedir.

- Model C-2 skleroskop'u çok hassas olarak imal edilmiş bir cam tüp taşıyan düşey yönde tutturulmuş bir borudan oluşur. O'dan 140'a kadar derecelendirilmiş bir skala cam tüpten görülebilecek şekilde borunun arkasına yerleştirilmiştir. Pnömatik olarak işleyen bir kafa borunun en üst kısmına takılıdır ve bir kauçuk pompa ve tüp düzeneği kullanılarak manuel olarak çalıştırılmaktadır. Çekiç belirli bir yükseklikten düşer ve cam tüpün içinde geri zıplar. C-2 modeli için yapılan çekiç aşağıdaki boyutlara sahip olmalıdır.

Çap	5,94 mm
Kütle	2,300 ± 0,500 g
Toplam uzunluk	20,7 - 21,3 mm
Çekicinin düştüğü mesafe	251 ± 0,13-0,38 mm

- b. Elmas, bilinen sertliğe sahip referans çubukları üzerinde doğru okuma almak için şekillendirilmelidir. Elmas, profilde, Şekil 3'de görüldüğü gibi düz bir yüzeyle biten dışbükey yarıçapa sahiptir. Elmasın düz yüzeyi daireseldir ve çapı sertliği ile diğer fiziksel karakteristiklerine bağlı olarak 0,1-0,4 mm arasında değişir.



Şekil 3. Elmas Skleroskopun Düz Ucunun Çap Aralıklarını Gösteren Profil.

YÖNTEM

- Her günlük kullanımdan önce, üretici firma tarafından sağlanan ve makinanın kullanıldığı sertlik seviyesine sahip olan bir standart test bloğu üzerinde en az 5 test okuması alınmalıdır. Okunan değerler standart test bloğu için verilen aralığın içine düşüyorsa cihaz testi geçti kabul edilir; diğer durumlarda cihaz üretici firma tarafından önerilen yöntemlerle kontrol edilmelidir.
- Deneyler No. 1800 dereceli aşındırıcı Alüminyum oksit tozu kullanılarak pürüzsüzleştirilmiş düzgün yüzeyler üzerinde yapılmalıdır. Aşırı kaba yüzeyler düşük ve hatalı okumalara yol açar.
- Numuneler en az 10 cm²'lik bir test yüzeyine ve 1 cm. kalınlığa sahip olmalıdır. Küçük numuneler test yüzeyi skleroskop eksenine dik gelecek şekilde emniyetli olarak tutturulmalıdır.

- d. Deneyi gerçekleştirmek için, borunun dibi deney numunesiyle sıkı temas edecek ve numunenin yüzeyiyle dik açı oluşturacak şekilde düşey konuma getirilmelidir. Çekiç, kauçuk pompa kullanılarak belirli bir yüksekliğe getirilir ve düşürülür. Geri zıplama yüksekliği ölçülür. ekicinin ilk geri zıplamasındaki yükseklik malzemenin sertliğini verir.
- e. Eksenel sapmalardan doğan hataları engellemek için, cihaz üstünde bulunan su terazisi veya şakl kullanılarak düşey konuma getirilmelidir. Skleroskop ile elde edilen en iyi sonuçlar cihazın bir mengene kullanılarak tutturulduğu zaman alınır. Yatay vibrasyonlar, çekicinin serbest düşmesine ve cihazın düşük değerler okumasına yol açtığı için engellenmelidir.
- f. Çentikler çok kısa aralıklarla yapılırsa hatalara yol açabilir. Bu yüzden vuruşlar en az 5 mm aralıklarla yapılmalı ve her noktaya bir vuruş yapılmalıdır. Darbe okumaları en az 20 değişik noktadan alınmalıdır.

HESAPLAMALAR

Shore skleroskop sertliği yukarıdaki metod kullanılarak aynı numune üzerinde en az 20 okumanın averağı olarak bulunur.

SONUÇLARIN RAPORLANDIRILMASI

Rapor test edilen her bir numune için aşağıdakileri kapsamalıdır:

- a. Kayanın litolojik tanımı. Test edilen numunenin coğrafik lokasyonu, derinlik ve orientasyonlar.
- b. Kaya numunesini oluşturan mineraller ve tane büyüklüğü,
- c. Numune alma, test edilme tarihleri, saklama koşulları ve numune hazırlama yöntemleri,
- d. Test yüzeyinin yatım ve yapraklanma düzlemlerine göre durumu (bunlar kayanın belirleyici önemli karakteristikleri olduğunda).
- e. Yapılan test sayısı ve ortalama Shore sertlik değeri.

