



Kaya Mekaniği Bülteni

Temmuz 1990

5

Kayada Tünel, İksa ve Deformasyon Hesapları

H. GÜZ

Şeritmetre Sistemi (Scanline) İle Yapılan RQD
Ölçümünün İstatistiksel Değerlendirilmesi

G. ŞENYUR

Kayaların Tek Eksenli Basma Dayanımı ve Deformabilite
Değerlerinin Bulunması İçin Önerilen Yöntemler

M.A. HİNDİSTAN

Kayaların Üç Eksenli Basınç Altındaki Dayanımının
Belirlenmesi İçin Önerilen Yöntemler

A.T. DİNÇER

Kayaların Çekme Dayanımının Belirlenmesi İçin
Önerilen Yöntemler

M.M. YEŞİL



TÜRK ULUSAL KAYA MEKANİĞİ DERNEĞİ

YÖNETİM KURULU

Başkan	: Prof. Dr. G Paşamehmetoğlu	(Maden Müh. Böl.-ODTÜ)
Başkan Yard.	: Mesut Çetinçelik	(DSİ Gn. Müd.lüğü-Ank.)
Genel Sekreter	: Doç. Dr. Abdürrahim Özgenoğlu	(Maden Müh. Böl.-ODTÜ)
Sayman	: Mete Yeşil	(Maden Müh. Böl.-ODTÜ)
Üye	: Doç. Dr Seyfi Kulaksız	(Yerbilimleri Enst.-H.Ü.)

DENETİM KURULU

Aydın Bilgin	(Maden Müh. Böl.-ODTÜ)
Gürel Şenyur	(Yerbilimleri Enst. H.Ü)
Bülent Kiper	(Strazburg Cad. 29/6-Ank)

YAYIN KURULU

Yönetim Kuruludur.

Yazışma Adresleri

—Doç. Dr. Abdürrahim Özgenoğlu
Genel Sekreter
Maden Müh. Böl. ODTÜ
06531 - ANKARA
Tel: (4) 223 71 00/2655

—Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği
P.K. 311 06423 Kızılay-ANKARA

Kayada Tünel, İksa ve Deformasyon Hesapları

H. GÜZ

Şeritmetre Sistemi (Scanline) İle Yapılan RQD
Ölçümünün İstatistiksel Değerlendirilmesi

G. ŞENYUR

Kayaların Tek Eksenli Basma Dayanımı ve Deformabilite
Değerlerinin Bulunması İçin Önerilen Yöntemler

M.A. HİNDİSTAN

Kayaların Üç Eksenli Basınç Altındaki Dayanımının
Belirlenmesi İçin Önerilen Yöntemler

A.T. DİNÇER

Kayaların Çekme Dayanımının Belirlenmesi İçin
Önerilen Yöntemler

M.M. YEŞİL

Türk Ulusal Kaya Mekaniği Derneği Yayınıdır.

Altan Matbaacılık-Ankara

Yazım İlkeleri

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

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

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

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

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

Yararlanılan kaynaklar alfabetik sıralamayla düzenlenmelidir.

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

Okurlarımıza,

Kaya Mekaniği çalışmalarında, laboratuvar deneylerinin önemli bir yer tuttuğu herkesçe bilinmektedir. Ülkemizde, Kaya Mekaniği laboratuvar deneyleri konusunda herkes tarafından benimsenip uygulanabilecek deney yöntemlerine gerek duyulduğu ortadadır. Bilindiği gibi, Uluslararası Kaya Mekaniği Derneği (ISRM), bünyesinde oluşturduğu komisyonlarca deney yöntemleri belirlemiştir. Bu yöntemler bütün dünyada kabul görmüş olup Kaya Mekaniği deneyleri için kullanılmaktadır. Ülkemizde de bu yöntemlerin kullanıldığı bilinmektedir. Ancak, bu standartların yabancı dilde yayınlanmış olması yaygın kullanımını güçleştirmektedir. Deney yöntemlerinde ortak standartlarının oluşturulması ve tüm Kaya Mekaniği çalışanlarının kullanımına sunulması amacıyla, ISRM Deney Yöntemlerinin dilimize çevrilerek bültenimizde yayınlanması kararlaştırılmıştır. Bu karar doğrultusunda bültenimizin bu sayısında “Tek Eksenli Basma Dayanımı ve Deformabilite, Üç Eksenli Basma Dayanımı ve Çekme Dayanımı” deney yöntemleri verilmektedir. Diğer yöntemler bültenimizin gelecek sayılarından yer alacaktır.

Yapılan bu çeviri çalışmaları sırasında, Kaya Mekaniği Disiplini ile ilgili Türkçe terminoloji konusunda var olan güçlükler bir kez daha karşımıza çıkmıştır. Bu zorlukları aşmak ve ülkemizdeki tüm Kaya Mekaniği çalışanlarının aynı sözcük ve deyimleri kullanmasını sağlayacak ortak bir terminoloji oluşturmak amacıyla, derneğimiz tarafından bir komisyon oluşturulması ve Kaya Mekaniği Terminoloji Sözlüğü hazırlanması tasarlanmaktadır. Böyle bir çalışmanın başarıya ulaşması sizlerin katılımlarıyla mümkün olacaktır. Bu konudaki her türlü görüş ve katkılarınızı derneğimize ulaştırmanızı bekliyoruz. Terminoloji sözlüğü oluşturulduktan sonra, dilimize çevrilen deney standartları tekrar gözden geçirilecek ve tümü birden bir kitap halinde yayınlanacaktır.

Tüm üyelerimize ve okurlarımıza gelecek saygılarımızda buluşmak üzere saygılarımızı sunarız.

Yönetim Kurulu

**HÜSAMEDDİN GÜZ'ÜN ANISINA
KAYADA TÜNEL, İKSA VE DEFORMASİYON HESAPLARI**

Hüsameddin GÜZ*

Derneğimiz kurucularından İnşaat Yük. Müh. Sayın Hüsameddin GÜZ'ü 3.9.1989 tarihinde yitirmiş bulunuyoruz. Değerli kurucu üyemizi bir kez daha saygı ile anmak ve anısını yaşatmak amacıyla Sayın GÜZ tarafından kaleme alınan ve TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası tarafından 1985 yılında yayınlanan "Kayada Tünel, İksa ve Deformasyon Hesapları" başlıklı çalışmasının, tümüne yer verme olanağı olmadığı için, sadece önsözünü İnşaat Mühendisleri Odasının izniyle bültenimizin bu sayısında yayınlamaktayız. Bu çalışma ile ilgilenen okurlarımız için kaynak önsözün sonunda verilmektedir.

Yönetim Kurulu

(*) İnşaat Yük. Müh.

Ö N S Ö Z

7 Mart 1985 tarihinde İnşaat Mühendisleri Odası'nda yapılan konuşmada, kayada yeraltı yapıları mühendisliği konusuna (E. Hoek ve E.T. Brown) tarafından getirilen son ve yeni gelişmelerin, meslektaşlarımıza tanıtılmasına çalışılmıştır.

Konuşmada (Hoek ve Brown)'nın (Underground Opening in Rock - 1980) başlıklı yapıtında problemin orijinal ele alınış şekline aynen uyulmuş olup, tablo ve diagramlar da olduğu gibi bu kaynaktan aynen alınmıştır.

(Hoek ve Brown)'un bu yapıtının kaya Mekaniği ve Tünel Mühendisliğinde önemli bir aşama olduğu kanısında olduğum için, hem öğretici hem de uygulayıcı özellikleri bulunan bu yapıtın ana hatlarını aynen yansıtmak istedim.

Konuşmada zaman elverdiği oranda onbir (11) bölümden oluşan bu yapıtın ikinci (2), altıncı (6) ve sekizinci (8) bölümlerindeki materyelin bir kısmı sunulmakla yetinilmiştir.

Sunulan bölümleri aşağıdaki gibi özetlemek mümkündür.

Bölüm 2 – Kaya Kütlelerinin Sınıflandırılması

Yakın zamana kadar inşaat mühendisleri, kaya kütlelerinin jeolojik ve mineralojik karakterinden hareket ederek yük altındaki davranışlarını akli selimlerini kullanarak tahmin etmeye çalışmışlardır. Daha çok jeolojik karakteri hesaba katan bu yaklaşım çok yararlı olmakla beraber, kalitatif yönü ağır bastığı için, mühendislik çalışmalarında yetersiz kalmış ve tatmin edici sonuçlar alınamamıştır.

(1950)'li yıllardan sonra Kaya Mekanikliği alanında yapılan araştırma çalışmaları, eklem ve dolgusu, direnç, su ve başka faktörleri de hesaba katan başlıca iki sınıflandırma sisteminin ortaya atılmasını sağladı. Bunlar (NGI) ve (CSRI), sınıflandırma sistemleri olup, kaya kütlelerini mühendislik maksatları yönünden sınıflandırmaktadır. Bu sınıflandırma sistemlerinin ortaya çıkması, bugün inşaat mühendisliğinin birçok kollarında eskidenberi hissedilen büyük bir boşluğu doldurmaktadır.

Bölüm 5 – Yeraltında Açılan Oyukların Çevresindeki Gerilmelerin Durumu

Literatür, matematiksel Elastisite Teorisinin konunun bu yönü ile ilgilenişinin 20. yüzyıl başlarına rastladığını göstermektedir. İdeal bir malzeme ortamında, yük altında malzemenin davranışına ışık tutmasına rağmen, eklem ve süreksizlikleri gibi faktörlerin kaya kütlelerinin davranış şeklinde oynadığı rol ve bu davranışa hakim olması, teorik buluşların mühendislik problemlerinin çözümüne katkısını bu alanda sınırlı kılmıştır.

Bu bölüm ideal bir ortam için elde edilen teorik sonuçları içermektedir.

Bölüm 6 – Kaya ve Kaya Kütlelerinin Direnci

Müellifler tarafından geliştirilmiş olan Kaya ve Kaya Kütlelerinin Kırılma Kriteri (Empirical Strength Criterion - 1980) bu bölümde açıklanmaktadır.

Zemin Mekanikğinde geçerli olan (Coulomb - Mohr) Kırılma Kriterleri, kaya kütlelerinin davranışını yansıtmada yetersiz kalmaktadır.

Temel mühendisliğinde geçerli normal gerilme (σ) mertebeleri için (Mohr - Coulomb) Kırılma Kriterinde içsel sürtünme açısında (ϕ) hissedilir mertebeden değişme olmadığı kabul edilmektedir. (Hoek - Brown)'nun Kırılma Kriterinde ise normal gerilme (σ)'nin küçük değerleri için içsel sürtünme açısı (ϕ) büyük değerlerden başlayarak, (σ) büyüdükçe küçülme ve pratik olarak bir sınır değere ulaşmaktadır. Arazi de gözlenen birçok durumda, bu hususu doğrulayıcı niteliktedir.

Bilgisayardan yararlanmak suretiyle mevcut büyük hacimdeki deneysel bilgi birikimini, yoğun bir çalışma sonunda değerlendiren (Hoek ve Brown)'nun ileri sürmüş olduğu Kırılma Kriteri, hem kaya kütesinin jeolojik karakterini hem de eklemlilik durumunu hesaba katmaktadır.

Müellifler kaya kütlelerinin jeolojik karakter bakımından beş (5) ve eklemlerin durumu bakımından altı (6) olmak üzere toplam otuz (30) gruba ayırmışlardır. Bu ayırım, hem jeolojik karakter, hem de (NGI) ve/veya (CSRI) sınıflandırma sistemlerine göre yapılmaktadır. Aynı cins kaya için eklemlilik durumuna göre enterpolasyon yapılarak, gerekirse ara kırılma kriterlerinin parametrelerini de enterpolasyonla hesaplamak mümkündür.

Bölüm 8 – Yeraltı Kazılarında İksa ve Kaplama Hesapları

Elastisite Teorisine göre, iksasız durumda kayanın direnci yetersiz ise tünel boşluğu çevresinde halka şeklinde kırılma meydana gelmektedir.

Plastisite Teorisinden yararlanılarak tünel çevresindeki plastik duruma dönüşmüş (kırılmış) halkanın kalınlığı hesaplanabilmektedir.

Ancak şimdiye kadar, kırılma durumuna ait parametreler elde mevcut olmadığından, uygulamada her mühendis karşılaştığı problemi kendi deneyim ve görüşüne dayanan kabullerle çözümlemeye çalışmıştır.

Bugün (Hoek ve Brown) tarafından gösterilen yol izlenerek kırılma parametreleri sistematik bir yoldan elde edilebilmektedir.

Uygulamalardan alınan sonuçlar, zamanla hem metodun isabetli olmayan taraflarını gösterecek ve gereken düzeltmeler yapılabilecektir.

Sekizinci bölümde değişik ikna sistemlerinin hesabı için müellifler, bilgisayar hesabı için elverişli şemalar vermişlerdir.

(1940)'lı yıllara kadar genellikle kalın kargir (taş duvar) veya beton kaplamalı ve boyutları çoğunlukla 35 m^2 ilâ 45 m^2 'yi geçmeyen tipik demiryolu ve karayolu tünelleri gibi yeraltı yapılarının yerine bugün oldukça büyük boyutlu sivil maksatlar için hidroelektrik, endüstri depolama ve askeri maksatlı yeraltı tesisleri yapılagelmektedir.

Bu alanda çalışan mühendislerin, karşılaştıkları stabilite, geçici iksa, sürekli kaplama problemlerini çözebilmeleri için daha gelişmiş mühendislik yaklaşımları ile teçhiz edilmeleri gerekli olmaktadır.

Bu konuşmaya bu düşünce dayanılarak girişilmiş ve kayada yeraltı yapıları ile ilgili son gelişmeler hakkında bir fikir verilmeye çalışılmıştır.

Bu vesile ile, başta İnşaat Mühendisleri Odası Başkanı Sayın Güney Özcebe ve Genel Sekreter Sayın Fikret Kemal Yıldırım olmak üzere, İnşaat Mühendisleri Odası'nın diğer mensubu arkadaşlara, göstermiş oldukları yardım ve ilgiden dolayı burada teşekkür etmek isterim.

Saygılarımla,

Hüsameddin Güz

KAYNAK

GÜZ HÜSAMEDDİN: Kayada Tünel, İksa ve Deformasyon Hesapları. TMMOB İnşaat Mühendisleri Odası Yayınları, Teknik Yayınevi, Ankara, 1985, 53 s.

ŞERİTMETRE SİSTEMİ (SCANLINE) İLE YAPILAN RQD ÖLÇÜMÜNÜN İSTATİSTİKSEL DEĞERLENDİRİLMESİ

Gürel ŞENYUR*

1. GİRİŞ

Yeraltı açıklıklarının açılması öncesi, esnasında veya sonrası kaya kütle özelliklerinin belirtilmesinde kayanın içerdiği süreksizliklerin (fay, yataklanma düzlemleri, eklemler ve çatlakları kapsayan genel tanım) sıklığı, yatım, doğrultu, pürüzlülük, dolgu içeriği gibi özellikleri önemlidir. Bu nedenle, birçok madencilik çalışmasında (şev duraylılığı, yeraltı açıklığı dizaynı v.b.) süreksizlik ölçümleri yapılmaktadır.

Kayaçalarda süreksizlikler düzgün olarak dağılmamışlardır. Lineer sıklık kaya içinde doğrultu yönüne göre değişmektedir ve ilgili RQD parametresi ölçüm yapılan galeri yüzeyinin doğrultusu için geçerlidir. Süreksizlik sıklığının doğrultu yönüne göre değişimi yanında, verilen doğrultu boyunca yapılan ölçümlerin değerlendirilmesinde sıklığın dağılımı da söz konusudur. Üç tip ana dağılım modeli vardır, fakat dağılım bunların ikili ve üçlü kombinasyonları şeklinde olabilir (Hudson and Priest, 1979). Fakat, aynı araştırmacılar teorik olarak verdikleri bu yaklaşımın yanında, pratikte yaptıkları çalışmalarda geniş kütlelerde sıklık dağılımının negatif eksponensiyel fonksiyon şekline yaklaştığını savunmaktadırlar (Hudson and Priest, 1976).

Belirli bir kayaç içerisinde ilerleme yapılırken açıklığın kazılan bölgesinde yapılan süreksizlik ölçümlerine dayanarak ilerisi için tahmin (estimation) yürütülmesi planlama açısından değer kazanmaktadır. Klasik istatistik yöntemler, bilinmeyen bir toplumdaki alınan numunelerin rastgele değişkenler olduğunu ve birbirlerinden bağımsız olduklarını varsayar. Jeoistatistik, birbirine yakın iki yerden alınan değerle-

(*) Dr.Müh., H.Ü. Müh. Fak. Maden Böl., Beytepe-ANKARA

rin rastgele ve birbirinden bağımsız olamayacağını aralarında bir dereceye kadar korelasyon olacağını düşünür (Nasuf, 1987). Bu düşünce ışığında, yakın aralıklarla elde edilen RQD değerlerinin jeostatistiklerin başlıca aracı olan bölgesel değişkenler olarak ele alıp uzaklığın fonksiyonu ve süreklilik esaslarına göre yakın ileriye değer ataması (tahmin) yapılabilir.

Bu çalışmanın çerçevesi şöyle özetlenebilir:

a. Çalışma galerisinde şeritmetre yöntemi ile belirlenen süreksizlik ölçümlerinin dağılımının incelenmesi ve RQD değerlerinin teorik ve pratik olarak bulunması ve yorumu.

b. Jeostatistik yöntem ile çalışma galerisinde ilerleme yönünde RQD değerlerinin tahmin menzili ve yakın ileriye değer ataması

Makalede kullanılan tanımlar aşağıda özetlenmiştir:

Süreksizlik aralığı, x : Bir kaya kütlesi içinde veya yüzeyinde, verilen bir doğrultudaki (oryantasyon) düzgün hat boyunca iki süreksizlik arasındaki ölçülen mesafedir. Süreksizlik aralığı ile ilgili detaylı çalışma Hudson ve Priest (1983) tarafından yapılmıştır.

Ortalama süreksizlik aralığı, $\bar{x}$: Aralıkların aritmetik ortalamasıdır.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Buradaki x_i , uzunluğu L olan ve n adet süreksizliği içeren şeritmetre hattı (scanline) boyunca yapılan aralık ölçümleridir. O halde,

$$L = \sum_{i=1}^n x_i$$

Ortalama süreksizlik frekansı (sıklığı), $\bar{\lambda}$: Ölçüm hattı boyunca her birim uzunluktaki ortalama süreksizlik sayısıdır. Büyük bir örnek için; $1/\bar{x} = n/L = \bar{\lambda}$

Kaya kalite belirteci, RQD: Deere (1968; Brady and Brown, 1983) tarafından tanımlanan ve kaya kütlesinin sınıflamasında kullanılan önemli bir parametredir. RQD, şeritmetre boyunca veya kuyu karotunda 0.1 metreye eşit veya büyük aralıkların (x_i) toplamının toplam uzunluğa (L) oranıdır,

$$RQD = 100 \sum_{i=1}^n x_i / L$$

2. ÇALIŞMA YERİNİN VE ÇEVRE KAYAÇLARININ TANITILMASI

Çalışma, Zonguldak taş kömürü havzası, Gelik bölgesi -360 katında 41410 no.lu taş galerisindedir (Şekil 1). Ölçümler galeri girişinden itibaren 90 ve 190 metreler arasında yapılmıştır (L = 100 m.).

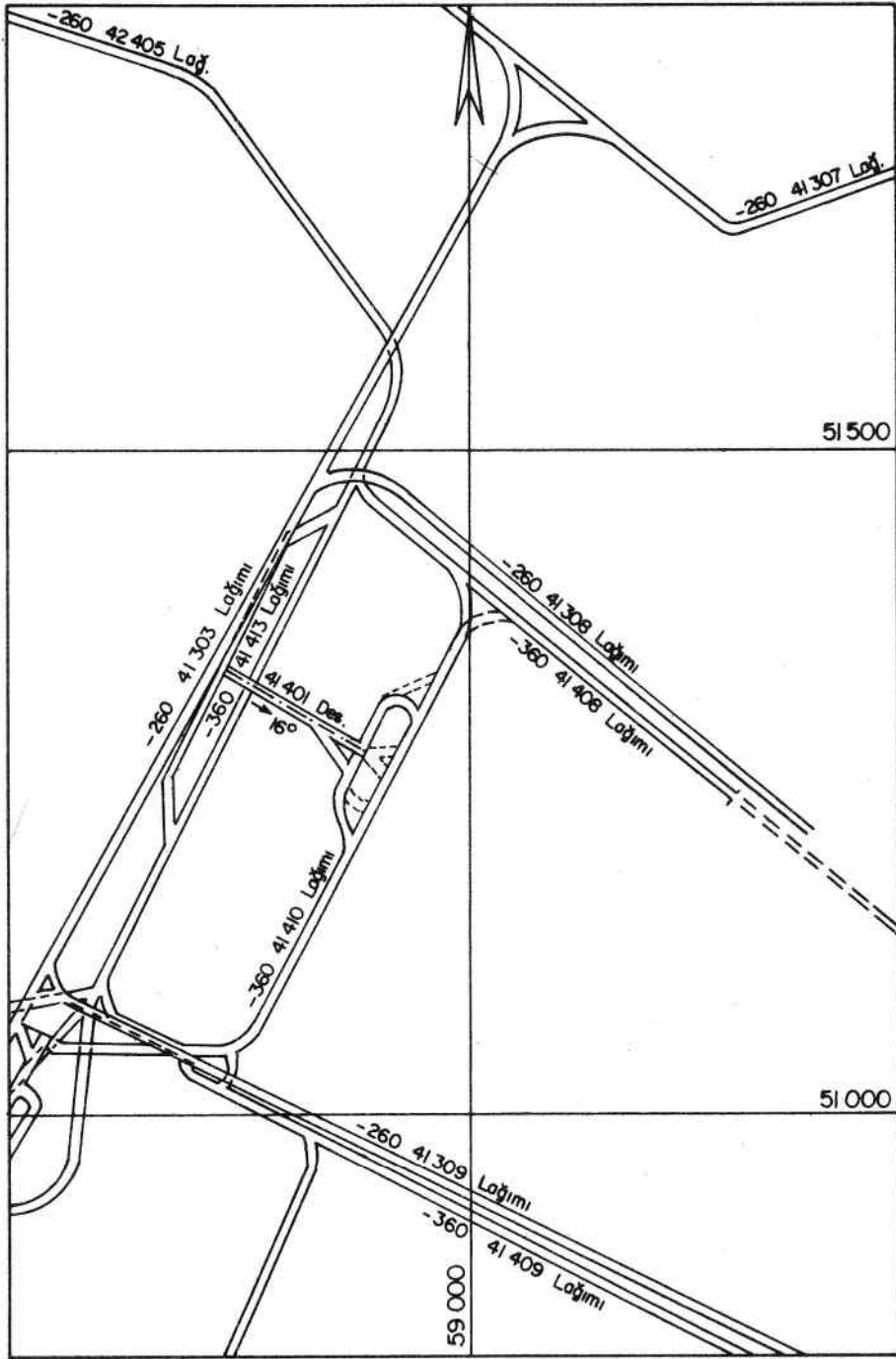
Havzadaki kaya birimleri, temel birimler, kömürlü birimler ve örtü birimleri olmak üzere üç grup altında toplanmaktadır. Temel birimler dolomitik kireçtaşları ile temsil edilmektedir. Kömürlü birimler; Alacaagzı formasyonu (Namuriyen) ince taneli kumtaşı, silttaşı ve kiltası ile süreklilik göstermeyen ince kömür damarlarından oluşur. Kozlu formasyonu (Westfaliyen-A) konglomera, kumtaşı, kiltası ve kömür birimlerinden ibarettir. Konglomeralar genellikle sıkı çimentolaşmış değişik boyda çakıllardan oluşur. Kumtaşlarında mineral taneleri (kuvars, ortoklaz, plajiyoklaz) ile kayaç parçaları (kuvars-mikaşist, kuvarsit, çört, altere volkanik kayaç parçaları) silis çimentoludur (Buzkan,1988).

41410 no.lu galerinin yer aldığı Kozlu formasyonu kumtaşlarından (orta-ince taneli) alınan numunelerle yapılan laboratuvar çalışmaları ile bazı fiziksel ve mekanik büyüklükler bulunmuştur;

Örnek sayısı	Özgül ağırlık	Su emme yüzdesi (%)	Tek eksenli basma dayanımı (MPa)	İndirekt çekme dayanımı (MPa)
Kayaç adı: Orta taneli kumtaşı (orjinal)				
10	2.64 ± 0.04	1.43 ± 0.2	104 ± 9.2	5.51 ± 1
Kayaç adı: İnce taneli kumtaşı (orjinal)				
10	2.63 ± 0.02	1.5 ± 0.17	92.7 ± 13.8	10.7 ± 1.2

3. ÇALIŞMA YÖNTEMİ

Ölçüm aletleri, mm. bölüntülü çelikmetre ve bir jeolog pusulasıdır. Süreksizlik aralığı, süreksizlik uzanımı, süreksizlik yatım ve doğrultusu, Ölçülenler ve süreksizlik bitim noktasının tipi, kıvrım, pürüzlülük kaydedilenlerdir. Bu ölçümlerin yapılmasında Brady ve Brown (1985)



Şekil 1. Gelik işletmesi -260/-360 katı lağımlar planı (ölçek 1:5000)

ve yine Brown (1981) tarafından verilen yöntemler uygulanmıştır. Şerit-metre hattı galeri duvarının alt ve üst noktalarının ortasından geçirilmiştir. Hat boyunca devamlı ölçüm alınmıştır. Ayrıca her beş metrede doğrultuya dik yönde tabandan tavana süreksizlik ölçümü yapılmıştır. Böylece her beş metrede bir dik ve yatay yönde RQD değerleri ortalaması alınarak bölgesel RQD değerleri elde edilmiştir.

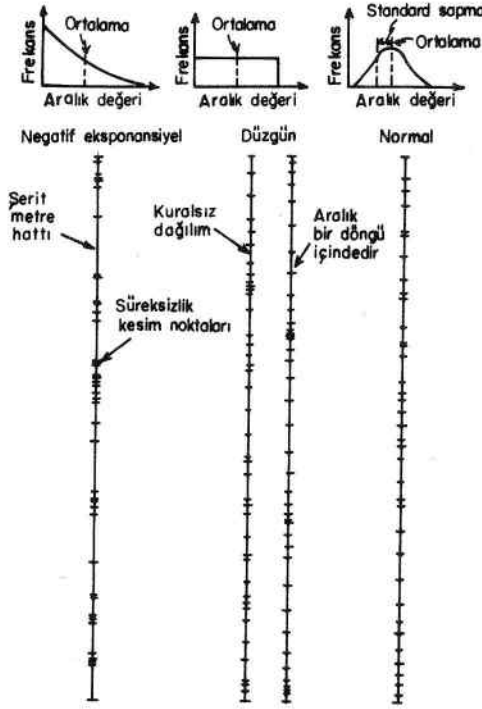
4. SÜREKSİZLİK ARALIĞI VE RQD

4.1. Teori

Hudson ve Priest (1979), süreksizlik aralıklarının dağılımının üç olasılık yoğunluk fonksiyonundan birine uyum sağlayacağını savunmuşlardır (Şekil 2). Negatif eksponensiyel dağılım hat boyunca süreksizlik kesim noktalarının birbirinden bağımsız ve rastgele dağıldığını ifade eder. Düzgün dağılımda bütün aralıklar eşit bulunma olasılığına sahiptir. Şekilde A hattı boyunca dizinin bir kurala uymamakta, B hattı boyunca ise aralıklar bir döngü ile sıralanmaktadır. Normal dağılımda ise ortalama aralık en çok görünen değer olmaktadır. Gerçekte, jeolojik ve mekanik faktörlerin etkisi ile kaya kütleleri içinde süreksizlik dağılımları iki veya daha fazla dağılım tipinin karışımı karmaşık modeller göstermektedir. Hudson ve Priest (1979) karşılıklı etkilenimi Monte Carlo simülasyon yöntemi ile teorik olarak incelemişlerdir. Kayaçlarda süreksizlik oluşumu jeolojik zaman içinde devamlı bir işlem olarak düşünüldüğünde, model bileşenlerinin sayısı artmaktadır. Bütün modeller, etki bileşeni çoğaldıkça rastgele (random) dağılıma yani negatif eksponensiyel dağılıma yaklaşmaktadır. Adı geçen araştırmacılar, bu teorik yaklaşımın saha ve yeraltı çalışmalarında elde ettikleri sonuçlarla uyumlu olduğunu belirtmektedirler. Negatif eksponensiyel dağılımın matematiksel ifadesi,

$$f(x) = \bar{\lambda} e^{-\bar{\lambda}x} \quad (2)$$

Burada $f(x)$, süreksizlik aralığı x 'in yoğunluk frekansı; $\bar{\lambda}$, her metrede ortalama süreksizlik sayısıdır. RQD'nin beklenen değeri (Şen ve Kazı, 1984),



Şekil 2. Teorik süreksizlik aralığı dağılımı örnekleri (Hudson ve Priest, 1979)

$$E(R\bar{Q}D) = 100 \frac{E(x^*)}{E(x)} \quad (3)$$

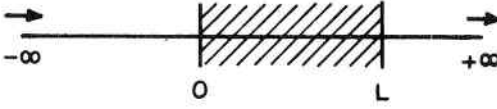
Burada, $E(x^*)$, seçilen bir $x = t$ değerinden ($t = 0.1$ m.) artı sonsuz ($+\infty$) arasında beklenen aralık x değeridir.

$$E(x^*) = \frac{1}{\lambda} (1 + \lambda t) e^{-\lambda t} \quad (4)$$

$E(x)$ ise, eksi sonsuz ($-\infty$) ve artı sonsuz ($+\infty$) arasında beklenen x aralık değeridir.

$$E(x) = \frac{1}{\lambda} \quad (5)$$

Ancak, aralık değerleri $-\infty$ ve $+\infty$ arasında değil, 0 ve L (toplam scanline uzunluğu) arasında yer almaktadır. Fakat bu durum, teorik sınır değerlerinin anlamını değiştirmez, çünkü $-\infty$ ve $+\infty$ sınırları 0 ve L sınırlarını kapsamaktadır (Şekil 3).



Şekil 3. $-\infty$ ve $+\infty$ arasında aralık değerleri kümesi

0 halde,

$$-\infty \int^{+\infty} = {}_0 \int^L \text{ ve } {}_t \int^{+\infty} = {}_t \int^L$$

Eşitlik 3 den

$$E(\overline{RQD}) = 100 (1 + \bar{\lambda}t) e^{-\bar{\lambda}t}$$

($t = 0.1$)

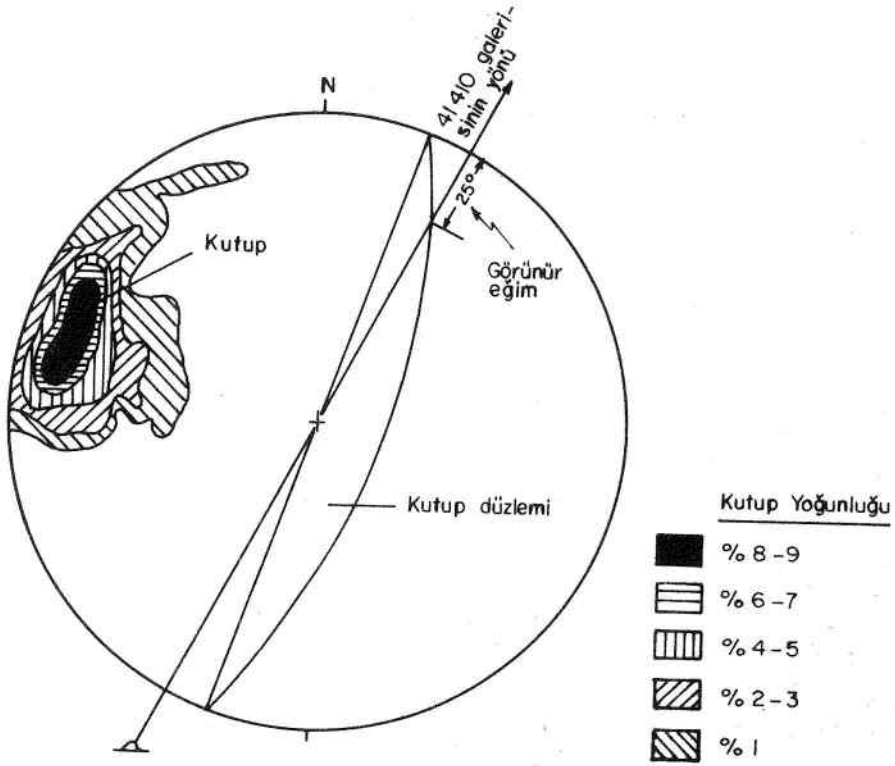
olarak verilmiştir.

4.2. Sonuçlar ve Değerlendirilmesi

4.2.1. Süreksizliklerin Genel Durumu

Genelde bir eklem takımı izlenmekte olup, süreksizlik duvar aralığı 0.1 mm. den küçük, dolgusuz ve süreksizlikler kuru veya az su sızıntılıdır. Süreksizlikler, fay yüzeyli, dalgalı, düzlemsel pürüzlü, dalgalı pürüzlü durumdadır. Ancak, kısıtlı alanda çalışıldığından süreksizliklerin devamlılığı için yorum getirilememiştir.

Hat boyunca 630 adet süreksizlik ölçümü alınmıştır. Süreksizlik düzlemlerinin dağılım ve doğrultu açılarına göre kutupsal noktalarının dağılımı steronet diyagramında işlenmiştir (Şekil 4). Şekilden izlendiği üzere, bütün süreksizlikler belirli bir bölgede toplanmaktadır. Kutup yoğunluğunun konsantre olduğu kümeleşme odağını temsil eden düzlem N 20°E / 74°S düzlemdir. Bu düzlem genel yataklanma düzlemini göstermektedir. Süreksizlikler, yataklanma süreksizlikleri olarak tek takım halindedir. Bu takımın galeri duvarında görülen ortalama görünür darlığı 25° dir.



Şekil 4. Süreksizliklerin steronet üzerinde kutup kümeleşme eşdeğer eğrileri, kutup düzlemi ve bu süreksizlik düzleminin galeri içinde görünür eğimi (41410 lağımı/Gelik).

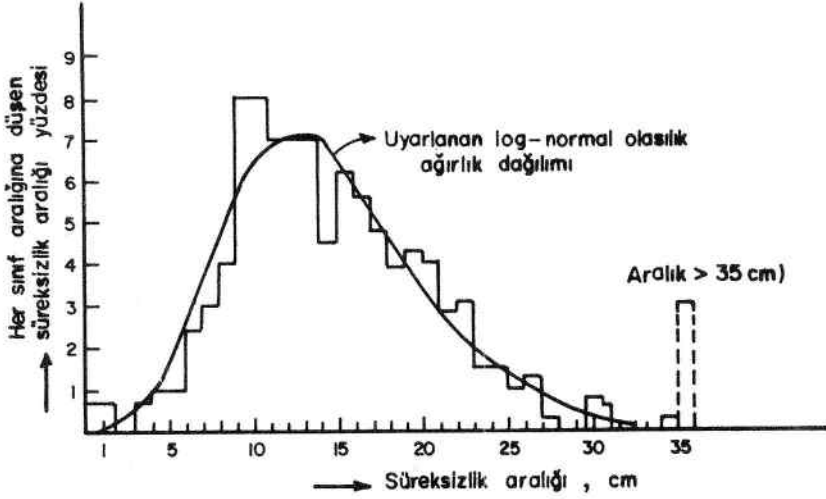
4.2.2. Süreksizliklerin Genel Dağılımı

Süreksizlik aralıklarının, yoğunluk frekanslarının dağılımı histogram diyagramı olarak çizilmiştir (Şekil 5). Sınıflar 1 cm. artan aralık değeri ile alınmıştır. Dağılımın ortalaması, $\bar{x}$, standart sapması, σ_x ve ortalama süreksizlik sayısı $\bar{\lambda}$,

$$\bar{x} = 16 \text{ cm.}, \quad \sigma_x = 7.3 \text{ cm.}; \quad \bar{\lambda} = 1/\bar{x} = 6.25 \text{ adet/metre}$$

olarak bulunmuştur. Diyagramda > 35 cm. kümesi toplu olarak gösterilmiş, fakat ortalama $\bar{x}$ hesaplanırken küme sınıfları tek tek alınmıştır

Birikimli frekans değerlerine karşılık sınıf üst değerleri ordinatı aritmetik ölçek, apsisi normal dağılım ölçeği olan koordinat sisteminde çizilmiştir (Şekil 6). Şekilde görüleceği üzere, dağılım lineer



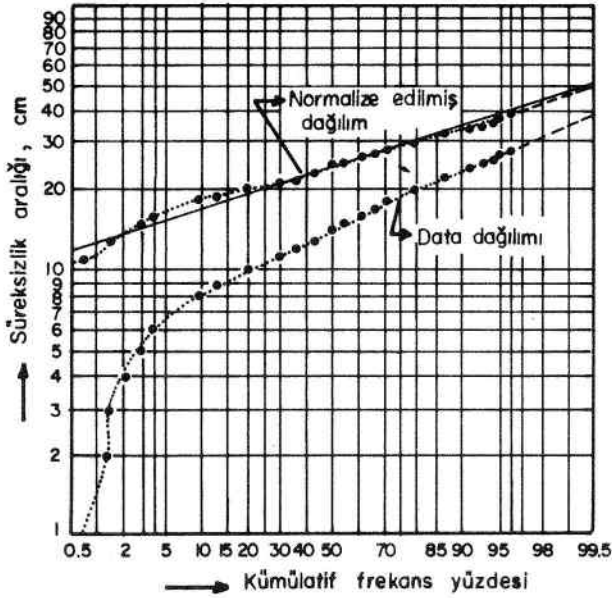
Şekil 5. Süreksizlik aralığı histogram diyagramı (41410 lağımı/Gelik).

değildir. Eğer lineer olsa idi, x lerin logaritmik değerleri normal dağılım göstereceklerdi. İkinci adım olarak dağılımın üç parametrelili log-normal dağılıma dönüşümü şekil üzerinden incelenmiştir. Bilindiği üzere, üç parametrelili lognormal dağılımda x değişkenine bir x_0 gibi sayısal değer eklenerek, $\log(x + x_0)$ değişkeninin dağılımı lineer hale çevrilmektedir (Arıkan, 1984). Şekil üzerinde grafiksel olarak deneme ve yarınlama yöntemiyle $x_0 = +10$ değerinin $\log(x + 10)$ değişkenlerini lineer dağılıma soktuğu görülmüştür. O halde, $y = \log(x + 10)$ değişkeni ağırlık fonksiyonu denklemi aşağıda verilen normal dağılım göstermektedir,

$$f(y) = \frac{1}{\sigma_y \sqrt{\pi}} e^{-\frac{1}{2} \left| \frac{y - \bar{y}}{\sigma_y} \right|^2} dy \quad (7)$$

Burada, $\bar{y}$ dağılımın aritmetik ortalaması, σ_y standart sapmasıdır. Ancak, orjinal histogram dağılımındaki son küme (> 35 cm.) analiz dışı bırakılmıştır. Dönüşüm, örneklemdaki toplam % 97'lik bölüm için geçerlidir. Üç parametrelili lognormal dönüşümün uygunluğu test edilmiştir (Kutsal ve Muluk, 1978). Ki-kare (χ^2) testi için denekler 5 gruba ayrılmış ve her grup için teorik ve pratik frekanslar karşılaştırılmıştır. Hesapların ki-kare değeri,

$$\chi^2 = 4.02$$



Şekil 6. Üç parametrelili lognormal dağılımın kümülatif frekans dağılımı.

$\alpha = 0.05$ yanlışla olasılığında ve $\nu = 2$ serbestlik derecesinde, χ^2 tablo değeri,

$$\chi_t^2 = 5.99$$

$$\chi_t^2 > \chi^2$$

Buna göre, $\alpha = 0.05$ yanlışla olasılığı ile $\log(x + 10)$ dağılımı lognormal dağılıma uygunluk göstermektedir. Dağılımın ortalaması $\bar{y}$ ve standart sapması σ_y ,

$$\bar{y} = 1.380211$$

$$\sigma_y = 0.1039$$

Örneklerin ortalamasından kütle ortalaması, μ için tahmin yapılırsa, iki yaklaşım söz konusudur; Orjinal veri üzerinden kütle ortalaması tahmini: Teoride, belli bir doğrultuda farklı n sayıda ölçüme sahip birden fazla seri ölçümü yapılırsa bu serilerin $\bar{x}$ ortalamaları normal bir dağılım gösterir (Brady and Brown, 1985). Buna göre, kütle ortalaması μ ,

$$\mu = \bar{x} \pm t \frac{\sigma}{\sqrt{n}}$$

Burada $\bar{x}$ örneklerin ortalaması, σ standart sapması ve n denek sayısıdır. $\alpha = 0.05$ yanılma olasılığında ($t = 1.965$), $\bar{x} = 16$ cm., $\sigma_x = 7.3$ cm. değerleri ile,

$$\mu = 16 \pm \frac{(1.965)(7.3)}{\sqrt{630}} = 16 \pm 0.53$$

$$15.47 \text{ cm.} < \mu < 16.53 \text{ cm.}$$

Ortalama süreksizlik frekansı $\bar{\lambda}$,

$$\bar{\lambda} = \frac{100}{16 \pm 0.53} = 6.25 \pm 0.20$$

$$6.05 \text{ adet/m.} < \bar{\lambda} < 6.45 \text{ adet/m.}$$

bulunur.

Lognormal dağılım üzerinden kütle ortalaması tahmini: $y_i = \log(x_i - x_0)$ normal bir dağılım olduğuna göre, ortalama $\bar{y}$ ve standart sapma σ_y değerlerinin güven aralıkları hesaplanabilir. Ortalama değerin güven aralığını hesaplamak için önce,

$$y = \log(\bar{x} + x_0)$$

değeri hesaplanacak ve güven limitleri

$$\pm t \frac{\sigma_y}{\sqrt{2N}} \sqrt{U_p + 2}$$

denklemine göre hesaplanacaktır (Arıkan, 1984). Doğal değerlerin ortalaması daha önce 16 cm. olduğuna göre logaritmik seri içindeki kartil değeri,

$$y_i = \log(16 + 10) \approx 1.415$$

Bu değere bağlı

$$U_p = \frac{y_i - \bar{y}}{\sigma_y} = \frac{1.415 - 1.377257}{0.1039} = 0.3633$$

$\alpha = 0.05$ yanılma payı ile ($t = 1.965$), güven limitleri,

$$\pm 1.965 \frac{0.1039}{\sqrt{1260}} \sqrt{0.3633^2 + 2} = \pm 7.8 \cdot 10^{-3}$$

elde edilir. Ortalamanın % 95 güven yüzdesine göre olabileceği değerler aralığı,

$$1.415 \pm 7.8 \cdot 10^{-3} \text{ veya } 1.4072 < \log(\bar{x} + x_0) < 1.4228$$

Antilogları alınıp $x_0 = +10$ a göre düzeltmeleri yapılacak olursa, doğal ortalamanın güven limitleri

$$15.5 < \mu < 16.47 \text{ cm.}$$

Bağılı olarak ortalama süreksizlik frekansı, $\bar{\lambda}$,

$$6.07 < \bar{\lambda} < 6.45 \text{ adet/metre}$$

elde edilir.

Sonuç olarak her iki yöntemle elde edilen ortalama tahminleri arasında önemli fark yoktur.

4.2.3. RQD Hesaplaması

41410 galerisinde 100 m. uzunluğundaki hat boyunca yapılan şeritmetre ölçümü sonucunda bulunan RQD değeri

$$RQD = 86.7$$

Teorik olarak RQD nin bulunması: Toplu ölçüm değerleri ile sınıflandırılmış dağılım tablo ve grafiği düzenlendikten sonra RQD yaklaşımı nasıl olacaktır? Şen ve Kazı (1976) ve Priest ve Hudson (1976) tarafından benzer yaklaşım ve basit matematiksel işlemlerle elde edilen sonuç (Eşitlik 6) bütün dağılımların teorik beklentisinin negatif eksponansiyel dağılımı olacağı düşüncesiyle verilmiştir. Fakat, bu çalışmada görüldüğü üzere dağılım kendine özgüdür veya bazı kısıtlama ile (> 35 cm. kümesinin ihmal edilmesi) lognormal dağılıma yaklaşmaktadır. Probleme yeni bir yaklaşım getirilebilir.

Süreksizlik aralıklarının dağılımının yoğunluk fonksiyonu $f(x)$ olsun. x ve $x + dx$ arasında süreksizlik aralığının olasılığı $f(x) dx$ olmaktadır, burada x süreksizlik aralığı, dx aralık artışıdır. Toplam L mesafeli şeritmetre ölçümünde, toplam süreksizlik sayısı $\bar{\lambda}L$ dir. Böylece, x ve $x + dx$ arasında aralık sayısı, $\bar{\lambda}L x f(x) dx$ dir. RQD nin tanımından (Eşitlik 1) ve süreklilik durumunda, teorik RQD (RQD^*) herhangi

bir t aralık değerinden itibaren,

$$\begin{aligned} RQD_t^* &= 100 \int_t^L \bar{\lambda} L x f(x) dx / L \\ &= 100 \int_t^L \bar{\lambda} x f(x) dx \end{aligned} \quad (8)$$

olmaktadır. Buradaki integrali sınır değişikliği ile ifade edersek;

$$RQD_t^* = 100 \bar{\lambda} \left| \int_0^L x f(x) dx - \int_0^t x f(x) dx \right|$$

Burada, $\int_0^L x f(x) dx$ ifadesi, $f(x)$ yoğunluk fonksiyonu olduğuna göre kütlenin aritmetik ortalamasıdır ($\bar{x}$). O halde,

$$RQD_t^* = 100 \bar{\lambda} \left| \bar{x} - \int_0^t x f(x) dx \right|$$

$\bar{x} = 1/\bar{\lambda}$ dönüşümü yapılırsa,

$$RQD_t^* = 100 \left| 1 - \bar{\lambda} \int_0^t x f(x) dx \right| \quad (9)$$

elde edilir. RQD nin tanımından $t = 0.1$ m. olmaktadır. Burada $\int_0^t x f(x) dx$, x in 0 ve $t = 0.1$ m. sınırları içinde beklenen değeridir.

$$E(x^t) = \int_0^t x f(x) dx$$

Öyle ise,

$$RQD_t^* = 100 \left| 1 - \bar{\lambda} E(x^t) \right| \quad (10)$$

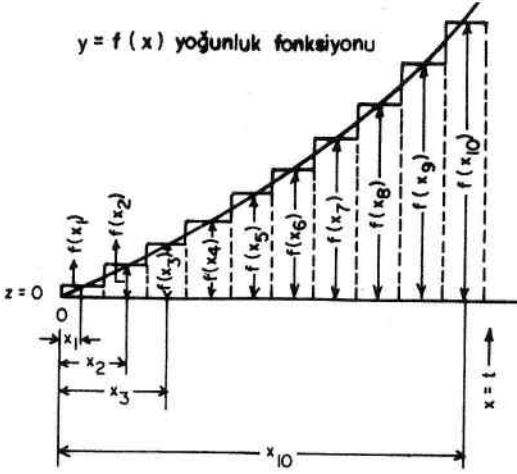
$\int_0^t x f(x) dx$ ifadesinin istatistiksel tanımı,

$$\sum_{i=1}^k x_i f(x_i)$$

olmaktadır. Burada k , 0 ile t arasındaki sınıf sayısı, x_i ise sınıf değeridir. Şekil üzerinde açıklanırsa (Şekil 7), $x = 0$ ile $x = t$ değerleri arasında 10 sınıf vardır. Bu sınıfların sınıf değerleri x_i ile $f(x_i)$ çarpımı toplamı,

$$\sum_{i=1}^{10} x_i f(x_i)$$

olmaktadır.



Şekil 7. $\Sigma x f(x)$ toplamının elemanları

RQD nin beklenen değerinin bulunmasında en uygun dağılım fonksiyonunun bulunması, matematiksel ifadesi ve verilen sınırlar içinde integrasyonu her zaman mümkün değildir. Alternatif yöntem olarak, süreksizlik aralığı (x) ölçümlerinin, sınıflar ve her sınıfın x_i değeri, her sınıfın yoğunluk frekansı $f(x_i)$ ve $x_i f(x_i)$ çarpımları ile istatistik tablosu düzenlenir. Yoğunluk frekansı $f(x_i)$,

$$f(x_i) = \frac{n_i}{N}, \quad N = \Sigma n_i$$

ifadesinden bulunur. Burada $N = \Sigma n_i$ toplam denek sayısı, n_i i sınıfındaki denek sayısıdır. 0 ile $x_i = 0.1$ m. değerleri arasındaki $x_i f(x_i)$ toplamı Eşitlik 10'daki $E(x^t)$ değerini verecektir. Bütün ölçülerin $\bar{x}$ aritmetik ortalaması ve $\bar{\lambda} = 1/\bar{x}$ ortalama 1 metredeki süreksizlik frekansı bulunarak Eşitlik 10'dan beklenen RQD* değeri bulunur.

41410 galerisindeki süreksizlik aralığı ölçümlerinin $x = 0$ ve $x = 10$ cm. arasındaki istatistiksel dökümü Çizelge 1. de verilmiştir. Çizelgede izlendiği üzere $\Sigma x f(x) = 1.62$ cm. = 0.0162 m. dir. Eşitlik 10'dan beklenen RQD*

$$\begin{aligned} RQD^* &= 100 \left| 1 - 6.25 (0.0162) \right| \\ &= 89.87 \end{aligned}$$

$\alpha = 0.05$ yanılma olasılığı ile $\bar{\lambda}$ in güvenlik sınırları ($6.05 < \bar{\lambda} < 6.46$) eşitlikte uygulanırsa, RQD nin değişim aralığı

Çizelge 1. 41410 galerisinde süreksizlik aralığı ölçümlerinin istatistiksel dökümü

Sınıf No.	Sınıf üst sınırı (cm)	Sınıf değeri, x (cm)	Orjinal yoğunluk frekansı f(x), %	lognormal dağılımına göre yoğunluk frekansı f'(x), %	x f(x)	x f'(x)
1	1	0.5	0.7	0.05	0.35×10^{-2}	0.025×10^{-2}
2	2	1.5	0.7	0.15	1.05×10^{-2}	0.225×10^{-2}
3	3	2.5	-	0.35	-	0.875×10^{-2}
4	4	3.5	0.7	0.75	2.45×10^{-2}	2.625×10^{-2}
5	5	4.5	1.0	0.99	4.5×10^{-2}	4.5×10^{-2}
6	6	5.5	1.0	2.3	5.5×10^{-2}	12.65×10^{-2}
7	7	6.5	2.4	3.1	15.6×10^{-2}	20.15×10^{-2}
8	8	7.5	3.0	4.1	22.5×10^{-2}	30.75×10^{-2}
9	9	8.5	4.0	5.1	34×10^{-2}	43.35×10^{-2}
10	10	9.5	8.0	6.0	76×10^{-2}	57×10^{-2}

$$\bar{\lambda} = 6.25 \text{ adet/m.}$$

$$\Sigma x f(x) = 1.62 \text{ cm.}$$

$$\Sigma x f'(x) = 1.7215 \text{ cm.}$$

$$89.5 < RQD < 90.2$$

bulunur.

İkinci yaklaşım olarak, $f'(x)$ olasılık yoğunluk fonksiyonu değerleri uyarlanan lognormal dağılımdan bulunabilir. Uyarlanan $y = \log(x+10)$ fonksiyonunun ortalaması $\bar{y} = 1.377257$, standart sapması, $\sigma_y = 0.1039$ idi. Örneğin, 4 cm. ve 5 cm. sınırları içindeki $x = 4.5$ cm. değerine karşı gelen olasılık yoğunluk frekansı $f'(x)$ şu şekilde hesaplanır;

$$\begin{aligned} \log(4 + 10) &= 1.14613 \\ z &= \frac{1.14613 - 1.377257}{0.1039} = -2.2245 \end{aligned}$$

z tablosundan (2.2245) değerine karşı gelen olasılık alanı 0.4849 dir.

$$\begin{aligned} \log(5 + 10) &= 1.1760913 \\ z &= \frac{1.1760913 - 1.377257}{0.1039} = -1.9615 \end{aligned}$$

z tablosundan (1.9615) değerine karşı gelen olasılık alanı 0.4750 dir. O halde aralığın yoğunluk frekansı,

$$f'(x) = 0.4849 - 0.4750 = 0.0099$$

41410 galerisindeki süreksizlik aralığı ölçümlerinin uyarlanan lognormal dağılımı ile hesaplanan yoğunluk frekansları ile, $x = 0$ ve $x = 10$ cm. arasındaki istatistiksel dökümü Çizelge 1. de verilmiştir. Çizelgeden izlendiği üzere $\sum x f'(x) = 1.7215$ cm. = 0.017215 m. dir. Eşitlik 10 dan beklenen RQD*,

$$RQD^* = 100 \left| 1 - 6.25 (0.017215) \right| = 89.2$$

$\alpha = 0.05$ yanılma olasılığı ile $\bar{\lambda}$ in lognormal dağılımından elde edilen sınırları ($6.07 < \bar{\lambda} < 6.45$) eşitlikte uygulanırsa, RQD nin değişim aralığı,

$$88.9 < RQD < 89.5$$

bulunur.

Görüldüğü üzere, orjinal dağılımdan ve teorik dağılımdan yapılan yaklaşımların arasında önemli bir fark yoktur. Ancak bu sonucun elde edilebilmesi için orjinal dağılımın bir teorik dağılıma uygunluk göstermesi gerekir. Aksi halde, tek alternatif olarak bu makalede izlenen orjinal dağılım yoğunluk frekansları ile hesaplama yöntemi yaklaşımını uygulamak mümkündür.

5. JEOİSTATİSTİK DEĞER TAHMİNİ

5.1. Teori

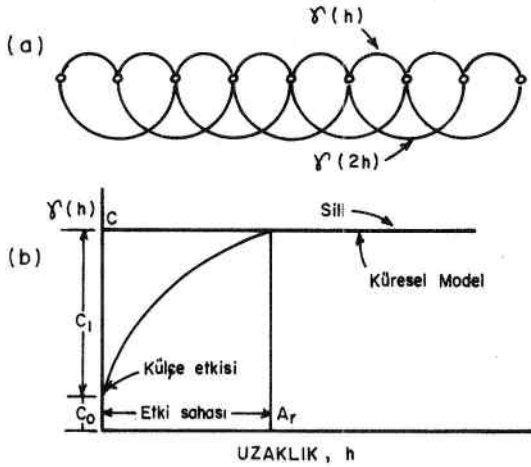
Jeoistatistik parametrelerin nicelik kazanmasını sağlayan "semi-variogram" veya basitçe "variogram" jeoistatistik analizlerin ilk aşamasını oluşturur. Variogram belirli aralıktaki numune değerlerinin ortalama farklarını gösteren aritmetik olarak basit bir grafik gösterimidir. Pratikte bir variogram oluşturulması esnasında birbirlerinden h uzaklıktaki numune değerlerinin karelerinin farklarının ortalamaları bulunmaktadır. Bu işlem h uzaklığının farklı değerleri için tekrarlanır ($2h, 3h, \dots$) (Şekil 8.a). Elde edilen sonuçlar jeoistatistik varyansdır, $\gamma(h)$.

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n |Z(x_i) - Z(x_i + h)|^2 \quad (11)$$

Burada,

$Z(x_i)$: x_i noktasındaki bölgeselleştirilmiş değişkenin (örneğin RQD) değeri

$Z(x_i + h)$: x_i noktasından h uzaklıktaki diğer bir noktadaki bölgeselleştirilmiş değişken değeri



Şekil 8. a) Belirli uzaklık aralığındaki numuneleri kullanarak yapılan variogram hesaplamasının şematik görünüşü, b) Küresel tip bir variogram.

Elde edilen variogram değerlerin aralarındaki değişimin uzaklıkla etkileşimini göstermektedir. Şekil 8. b. de pratikte çok rastlanan küresel bir tip variogram gösterilmiştir. Küresel tip variogramda belirtilen değerler tanımlanırsa,

Etki sahası : Bu saha içinde kalan ve belirtilen bir noktadan belirli (Menzil) uzaklıkta bulunan diğer noktaların değerleri o noktanın değerini etkilemektedir. Bu uzaklığın dışındaki noktaların etkisi yoktur.

Sill : $(C_1 + C_0)$, variogramda maksimum varyans değerini gösterir.

Külçe etkisi: (C_0) , $h = 0.0$ m. noktasında variogramın aldığı değerdir. Bölgesel homojenliği ifade eder.

Krigging (Blokla değer atama):

Krigging bir jeoistatistiksel ara değer bulma yöntemi olup bir bloğun veya panelin değeri çevresindeki numunelerin değerlerinin lineer kombinasyonu olarak hesaplanır. Krigging uygulaması ağırlıklı hareketli ortalama denklemin bulunması ve şebekedeki takip eden noktalarda bölgesel değişkenin doğru tahmininde kullanılması işlemidir.

Tahmin yürütülecek bir Z noktası etrafında n adet nokta olduğunu düşünelim. Her noktaya verilecek ağırlık aşağıdaki formdaki denklemler sisteminin çözümü ile elde edilir (Davis, 1973).

$$\sum_{j=1}^n a_j \gamma(x_i - x_j) = \gamma(x_i - Z) - u \quad (12)$$

Burada, $\gamma(x_i - x_j)$, h uzunluğundaki x_i ve x_j arasındaki jeoistatistik varyansdır. Aynı şekilde $\gamma(x_i - Z)$, x_i ile tahmin yürütülecek Z değeri arasında jeoistatistik varyansdır. Ancak, diğer bir sınırlama ağırlık katsayılarının (a) toplamının 1 olacağıdır. Böylece, bütün denklem seti, matris formunda,

$$\begin{vmatrix} \gamma(x_1 - x_1) & \gamma(x_1 - x_2) & \dots & \gamma(x_1 - x_n) & 1 \\ \gamma(x_2 - x_1) & \gamma(x_2 - x_2) & \dots & \gamma(x_2 - x_n) & 1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots & \\ \gamma(x_n - x_1) & \gamma(x_n - x_2) & \dots & \gamma(x_n - x_n) & 1 \\ 1 & 1 & \dots & 1 & 0 \end{vmatrix} \begin{vmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_n \\ u \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} \gamma(x_1 - Z) \\ \gamma(x_2 - Z) \\ \vdots \\ \gamma(x_n - Z) \\ 1 \end{vmatrix}$$

Burada n adet a-değerine karşılık (n + 1) adet denklem vardır. Sistemi dengelemek için U (Lagranj sayısı) eklenmiştir.

Küresel model için;

$$\gamma(h) = C_1 \left| \frac{3}{2} \frac{h}{A} - \frac{1}{2} \frac{h^3}{A^3} \right| + C_0 \quad h < A \text{ için} \quad (13)$$

$$\gamma(h) = C_1 + C_0 \quad h > A \text{ için}$$

Burada C_1 , C_0 ve A variogramdan elde edilir. $\gamma(x_1 - x_1)$, $\gamma(x_1 - x_2)$, ... $\gamma(x_n - x_n)$ değerleri yukarıdaki Eşitlik 13 deki ifadelerden elde edilip matris seti a değerleri için çözülür.

Tahmin edilecek Z değeri,

$$Z = a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n$$

hareketli ortalama denkleminde bulunur.

5.2. RQD Değer Tahmini

41410 galerisinde 100 metre mesafe içinde beşer metre aralıklarla yapılan RQD ölçüm değerleri; 85, 80, 85, 75, 80, 70, 75, 80, 85, 100, 85, 75, 80, 100, 85, 75, 80, 85, 80, 85 olarak elde edilmiştir.

Galerinin devamı boyunca kestirimde bulunmak için bu değerlerle bilgisayar için hazırlanmış program ile Krigging yapılmıştır. 20 adet RQD ölçüm değeri ve variogram parametreleri ile yapılan Krigging kestirimi ile galerinin ilk ölçüm başlangıcı 0 kabul edilirse, 110, 120 ve 130 metrelerdeki RQD (Z) değerleri,

$$110 \text{ m.} \quad : \quad Z = 79.01$$

$$120 \text{ m.} \quad : \quad Z = 83.06$$

$$130 \text{ m.} \quad : \quad Z = 84.43$$

Bu değerlerin değişimi (varyansı), $\sigma_h^2(Z)$ aşağıdaki formülden hesaplanmıştır (Davis, 1973),

$$\sigma_h^2(Z) = U + \sum_{j=1}^n a_j \gamma(x_i - Z) \quad (14)$$

Buradaki, U Lagranj sayısı, a_j denklem seti katsayıları ve jeostatistik varyans $\gamma(x_i - Z)$ anlamları konu içinde verilmişti. Varyans değerleri,

$$\begin{aligned} Z &= 79.01 \quad ; \quad \sigma_h^2(Z) = 72.1 \\ Z &= 83.06 \quad ; \quad \sigma_h^2(Z) = 75.25 \\ Z &= 84.43 \quad ; \quad \sigma_h^2(Z) = 80.9 \end{aligned}$$

yüksek varyans değerleri, elde edilen variogramın subjektif değerlendirilmesinden ve az veri kullanılmasından kaynaklanmaktadır.

6. SONUÇLAR

Şeritmetre yöntemi ile uzun bir hat boyunca yapılan RQD ölçümlerinde teorik genel değerlendirmeyi negatif eksponensiyel fonksiyon dağılımı yaklaşımı ile yapmak her zaman mümkün değildir. Süreksizlik aralıklarının istatistiksel dağılımı ortamın jeolojik yapısına bağlıdır. Ortamın en iyi belirteci steronet diyagramıdır. Belli bir bölgede kutup topluluğu olduğu, diğer bir deyişle yataklanma yönünde süreksizliklerin geliştiği bir ortamda süreksizlik aralığı dağılımı normal dağılım dönüşümüne yaklaşabilmektedir. Birkaç bölgede kutup yoğunluğu oluşan steronet diyagramları, süreksizlik aralıklarının negatif üssel dağılımının kuvvetli belirtisidir.

Teorik RQD değeri bulunurken, süreksizlik aralığı dağılımını bir matematiksel fonksiyona uyarlamak mümkün olmayabilir veya güçtür. Alternatif olarak, detayı makale içinde verilen ve aşağıdaki ifade ile formüle edilen yöntemle RQD değeri elde edilebilir;

$$RQD = 100 \left[1 - \bar{\lambda} E(x^{0.1}) \right]$$

Burada, $\bar{\lambda}$, 1 metredeki ortalama süreksizlik sayısıdır. $E(x^{0.1})$, $x = 0$ ve $x = 0.1$ m. aralığında süreksizlik aralığı, x in beklenen değeridir;

$$E(x^{0.1}) = \sum_{i=1}^k x_i f(x_i)$$

Burada, k , istatistiksel döküm tablosunda $0 < x < 0.1$ m. aralığında sınıf sayısı, x_i , sınıf değeri ve $f(x_i)$ sınıf yoğunluk frekansıdır.

Bütün hat boyunca elde edilen RQD değerine göre bölgesel değerlerin değişiklik gösterdiği izlenmiştir. Eşit aralıklarla alınan bölgesel RQD değerlerini kullanarak jeostatistik yöntemle yakın ilerisi için tahmin yapılabileceği görülmüştür, fakat konu araştırmaya açıktır.

KAYNAKLAR

1. ARIKAN, A., Hidrojeolojide İstatistik Yöntemler, Mühendislik Hidrolojisi Semineri, E.İ.E. Genel Md.lüğü, Yayın No. 84-46, 1984, s. 9. 13 - 10.73.
2. BRADY, B.H.G. and BROWN, E.T., Rock Mechanics for Underground Mining, George Allen and Unwin, London, 1985, 519 p.
3. BROWN, E.T., Rock Characterization, Testing and Monitoring, ISRM Suggested Methods, Pergamon Press, Oxford, 1981, pp. 5-52.
4. BUZKAN, İ., Kuzey-Batı Anadolu Taşkömür Havzası Karadon Bölgesinde Bazı Kömür Damar Kalınlıklarının Jeoistatistiksel İrdelenmesi, Türkiye 6. Kömür Kongresi, Zonguldak, Cilt 1, 1988, s. 481-495.
5. DAVIS, J.C., Statistics and Data Analysis in Geology, John Wiley and Sons, Inc. London, 1973, pp. 375-385
6. HUDSON, J.A. and PRIEST, S.D., Discontinuity Spacings in Rock, Int. J. Rock Mech. Mining Sci. and Geomech. Abstr. Vol. 13, 1976, pp. 135-148.
7. HUDSON, J.A. and PRIEST, S.D., Discontinuities and Rock Mass Geometry, Int. J. Rock Mech. Mining Sci. and Geomech. Abstr. Vol. 16, 1979, pp. 339-362.
8. HUDSON, J.A. and PRIEST, S.D., Discontinuity Frequency in Rock Masses, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr. Vol. 20, No. 2, 1983, pp. 73-89.
9. KUTSAL, A. ve MÜLÜK, Z., Uygulamalı Temel İstatistik, H.Ü. Fen Fakültesi Basımevi, Beytepe, Ankara, 1978, 237 s.
10. NASUF, E., Jeoistatistik Yöntem İle Rezerv Hesaplama Seminer Notları, Etibank Matbaası, Ankara, 1987, 51 s.
11. ŞEN, Z. and KAZI, A., Discontinuity Spacing and RQD Estimates from Finite Length Scanlines, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. and Geomech. Abstr. Vol. 21, No. 4, 1984, pp. 203-212.

KAYALARIN TEK EKSENLİ BASMA DAYANIMI VE DEFORMABİLİTE DEĞERLERİNİN BULUNMASI İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEMLER

Çeviren : Mehmet Ali HİNDİSTAN*

Bölüm 1 : TEK EKSENLİ BASMA DAYANIMI

1. AMAÇ

Bu deney yönteminde amaç, düzgün geometrik biçimli kaya örneklerinin tek eksenli basma dayanımını ölçmektir. Kayaların basma dayanımı, kaya kütlelerinin tanımlanması ve dayanım sınıflaması için kullanılmaktadır.

2. DENEY DÜZENEGİ

a) Kaya numunesi üzerine eksenel yük uygulamak için uygun bir yükleme makinesi kullanılmalıdır. Bu makina, 3. bölümde verilen yükleme oranını sağlayıcı kapasite ve duyarlılıkta olmalıdır. Makina uygun zaman aralıklarında kontrol edilmeli ve değişik uluslarca kabul edilmiş standartlara uymalıdır. Bunlar: ASTM (American Society for Testing Materials) standartları E4 bölümünde, ya da, Deütche Normen DIN 51 220, DIN 51 223, Klasse 1 ve DIN 51 300 bölümlerinde tanımlanmıştır.

b) Eğer yükleme makinasının üzerinde bulunabilecek küresel bir başlık bölüm 2 (d)'deki tanımlamaya uymuyor ise, bu başlık ya çıkarılarak ya da kilitli pozisyona getirilerek makinanın alt ve üst yükleme yüzeylerinin birbirine paralel olması sağlanmalıdır.

c) Numunenin her iki ucuna, sertliği HRC58 standartından düşük olmayan, disk biçimli, çelik başlıklar kullanılmalıdır. Bu başlıkların çapları numune çapından 2 mm büyük olmalıdır. Kalınlıkları ise en az 15 mm ya da numune çapının 1/3'ü kadar olmalıdır. Disklerin yüzeyleri oldukça düz olmalıdır.

d) Kullanılacak iki başlıktan biri küresel yataklı olmalıdır. Bu başlık deney esnasında numunenin üst ucuna konulmalıdır. Küresel yüzeyin işlevini artırmak için temas yüzeylerine madeni yağ sürülmelidir. Kaya numunesi, başlıklar ve makinanın basma yüzeyleri birbirlerine göre ve makinarya göre bir eksen boyunca merkezleştirilmelidir.

3. DENEY YÖNTEMİ

a) Deney için 2.5 - 3.0 değerinde yükseklik / çap oranına sahip ve tercihen çapı NX standardından, yani 54 mm.den küçük olmayan, düzgün silindirik biçimli numuneler kullanılmalıdır. Numunenin çapı kayacın tane yapısına bağlı olmalı ve bu değer kayadaki en iri tane boyutunun 10 katı değerinden küçük olmamalıdır.

b) Numunenin alt ve üst yüzeyleri en fazla 0.02 mm.ye kadar bir hata ile düzgün olmalı ve numune eksenine diklik hassasiyeti 0.001 radyan ya da 50 mm.de 0.05 mm sapmadan küçük olmalıdır.

(*) Maden Yük. Müh., ODTÜ Maden Mühendisliği Böl., 06531 ANKARA

c) Numunenin yan yüzeyi pürüzsüz olmalı ve düzgünlüğü boyunca 0.3 mm. den daha küçük bir hassasiyette olmalıdır.

d) Numunenin yüzeylerinde 2. bölümde tanımlanan deney için gerekli parçaların (disk, başlık, vb.) dışında yüzeylerin durumunu iyileştirmek amacıyla her hangi bir şey kullanılmamalıdır.

e) Numunenin çapı, üst, orta ve alt kısımlarında ve her kısımda en az iki okuma yapılarak hassas olarak ölçülmelidir. Böylece bulunacak ortalama değer numunenin kesit alanının hesaplanmasında kullanılmalıdır. Numunenin yüksekliği 1 mm. hassasiyetle okunmalıdır.

f) Kayaç örnekleri, doğal su içeriklerini kaybetmeyecek biçimde korunmalı ve otuz günden daha uzun bir süre saklanmamalıdır. * Ayrıca, kayacın nem içeriği ISRM'in "Bir Kayaç Örneği İçindeki Nem Miktarının Hesaplanması İçin Önerilen Yöntem" standartında belirtildiği gibi rapora eklenmelidir.

g) Deney esnasında numune üzerine sürekli olarak sabit bir gerilim hızında yük uygulanmalıdır. Bu değer 0.5 - 1.0 MPa/san. ya da numuneyi 5 - 10 dakika süre içinde kırarak şekilde ayarlanmalıdır.

h) Kırılma yükü % 1 hassasiyet ile kaydedilmelidir.

i) Deneyi yapılacak numune sayısı amaca yönelik olarak belirlenir, fakat en az 5 adet tercih edilmelidir.

4. HESAPLAMALAR

a) Numunenin tek eksenli basma dayanımı, kırılmadan önceki basma yükünün numunenin ilk alanına bölünmesi ile elde edilir.

5. SONUÇLARIN RAPORLANDIRILMASI

Deneyler sonucunda hazırlanacak raporda aşağıdaki bilgiler yer almalıdır:

- Kayacın litolojik tanımlaması,
- Olası tabakalaşma düzlemlerine göre yükleme doğrultusunun konumu,
- Numunenin kaynağı ile birlikte coğrafik yeri, derinliği ve konumu ile örnek alınma yöntemi ve tarihi, laboratuvara getirilmesi ve çevresel özellikler,
- Deneyde kullanılan numune sayısı,
- Numunelerin çap ve yükseklikleri,
- Deney esnasındaki nem içerikleri ve doygunlukları,
- Deney süresi ve uygulanan gerilim hızı,
- Deney tarihi ve kullanılan makinanın cinsi,
- Kırılma biçimi; makaslama, eksenel kırılma, vb.,
- diğer gözlemler ya da kayaca ait birim ağırlık, porozite ve geçirgenlik gibi fiziksel özellikler,

(*) Bazı özel durumlarda kayacın nem içeriğinin amaca göre değiştirildiği gözlenmiştir. Şöyle ki; tamamen doymuş ya da bir fırında 105 °C de kurutulmuştur. Böylesi bir durumun raporda belirtilmesi gereklidir.

k) Her numuneye ait tek eksenli basma dayanımı değerleri ve bunların ortalaması Pascal (Pa), ya da bunun katları olan gerilme ve mukavemet birimi cinsinden verilmeli,

l) Yukarıda açıklanan deney yöntemi tanımlamalarına uymayan, fakat yapılması zorunluluk teşkil edebilecek numuneler olduğunda bu durum ayrıntıları ile raporda belirtilmelidir.

KAYNAKLAR

1. **Obert L., Windes S.L. & Duvall W.I.**, *Standardized Tests for Determining the Physical Properties of Mine Rocks. U.S. Bureau of Mines Report of Investigations. No: 3891, 1946, 67 p.*

2. **International Bureau for rock Mechanics**, *Richtliniel zur Durchfuhrung von Druckversuchen an Gesteinen im Bergbau. Bericht, 5. Lundertreffen des I.B.G., Akademie-Verlag, Berlin, 1964, pp. 21 - 25.*

3. **U.S. Corps of Engineers**, *Strength Parameters of Selected Intermediate Quality Rock-Testing Procedures Missouri River Division Laboratory Reports. No: 64/4903, July 1966, pp. 1A - 6A: 1B - 7B.*

4. **ASTM**, *Standard Method, of Test for Unconfined Compressive Strength of Rock Coal Specimens. American Society For Testing and Materials. ASTM Designation D - 2938 - 71 a.*

5. **Hawkes I. & Meilor M.**, *Uniaxial Testing in Rock Mechanics Laboratories. Engng. Geo. 4. July 1970, pp. 177 - 285.*

Bölüm 2: TEK EKSENLİ DEFORMABİLİTE DENEYİ

1. AMAÇ

Bu deneyin amacı, düzgün geometrik şekildeki kaya numunelerinin “Gerilim - Birim Deformasyon” özelliklerini, Young Modülünü ve Poisson oranını belirlemektir. Bu belirlemeler kaya kütesinin tanımlanması ve sınıflandırılması için kullanılmaktadır.

2. DENEY DÜZENEGİ

a) - d); Tek eksenli basma dayanımı deneyinde yapılan tanımlamanın aynısı.

e) Birim deformasyon dirençleri, ölçme indikatörü, kanal okuma ve köprü balans üniteleri. Belirlenen yük aralıklarında iki yatay (çapsal) ve iki dikey (eksenel) deformasyon dirençlerinden okunan değerler kaydedilmelidir. Bunun için kullanılacak cihaz 5×10^{-6} değerinde bir duyarlılıkla okuma yapabilecek özellikte olmalıdır.

Yatay ve dikey birim deformasyon değerleri okunan degere % 2 yakın bir doğruluk ile hesaplanmalı ve en yüksek değer % 2'si hassasiyetinde olmalıdır.

Eğer elektrikli birim / deformasyon dirençleri kullanılır ise, bu dirençlerin boyları kayadaki en iri tane boyutunun 10 katından küçük olmamalı ve numunenin alt ve üst yüzeylerine yakınlığı numune çapının yarısından daha kısa olmamalıdır.

Eğer eksenel deformasyonun okunması için mekanik deformasyon ölçerler ya da LVDT'ler (Lineer değişken aralıklı transformatör) kullanılır ise, bunların 0.002 mm.ye kadar hassasiyette değerlerin okunabilmesi için uygun ve hassasiyetinin 0.02 mm. arasında en az 0.002 mm doğrulukta olmalıdır.

f) Tercihen, imkanlar dahilinde, yük - deformasyon kaydedici bir cihaz kullanılabilir. Kullanılacak bir X-Y kaydedici ile yüksek deformasyon eğrileri deney esnasında elde edilebilir.

3. DENEYİN YAPILMASI

a) - e); Tek eksenli basma dayanımı deneyinde yapılan tanımlamanın aynısı.

f) Kayacın nem içeriğinin bu deneyde ihmal edilemez bir etkisi vardır. Bu nedenle, mümkün olduğu durumlarda, deney yapılana kadar numunelerin doğal nem içerikleri korunmalı ve bu oran belirlenmelidir. Aşırı nem içeriği dirençlerin numune yüzeyine yapıştırılmasında sorun çıkacak olur ise bunun önlenmesi amacıyla kayacın nem içeriğinin düşürülmesi gerekebilir. Bu durumda kayacın nem içeriği ile deformabilite değerleri arasında bir doğrulama (korrelasyon) yapılmalıdır. Nem içeriği ISRM'in "Bir Kayaç Örneği İçindeki Nem Miktarının Hesaplanması İçin Önerilen Yöntem" Standartında belirtildiği gibi rapora eklenmelidir.

g) Deney esnasında numune üzerine devamlı olarak sabit bir gerilim hızında yük uygulanmalı. Bu değer 0.5 - 1.0 MPa/san. ya da numunenin 5 - 10 dakika içinde kırılmasını sağlayacak hızda olmalıdır.

h) Yüke karşılık çapsal ve eksenel deformasyon değerlerinin sürekli kaydedilme imkanı yok ise bu değerler belli yük değerlerinde okunmalıdır. Bu biçimde yapıldığında numune kırılana kadar en az 10 değer okunmalıdır.

i) Bazı durumlarda, amaca uygun olarak, bir kaç kez, aynı numune üzerinde yükleme - boşaltma (loading - unloading) yapılması önerilebilir.

j) Deneyi yapılacak numune sayısı 5'ten az olmamak üzere pratik amaca yönelik olarak belirlenebilir.

4. HESAPLAMALAR

a) Eksenel birim deformasyon, ϵ_a ve çapsal birim deformasyon, ϵ_d değerleri ya direkt deney esnasında kaydedilir ya da bu amaç için kullanılan cihaza göre hesaplanır.

b) Eksenel birim deformasyon aşağıdaki eşitlikten bulunur:

Burada; $\epsilon_a = \Delta l / l_0$

l_0 : numunenin ilk uzunluğu,

Δl : numunenin uzunluğundaki değişim miktarı (kısalma artı işareti ile tanımlanır).

c) Çapsal birim deformasyon ya numunenin çapındaki değişimin ya da çevre uzunluğundaki değişimin ölçülmesiyle hesaplanır. Çap değerinin değişimi ölçüldüğünde çapsal birim deformasyon değeri şu eşitlikten bulunur:

Burada; $\varepsilon_d = \Delta d/d_0$

d_0 : numunenin ilk çapı,

Δd : çapta değişim miktarı (çapta artma artı işareti ile tanımlanır).

Çevresel birim deformasyon, ε_c , ölçüldüğü durumda numunenin ilk çevre uzunluğu $C_0 = \pi d_0$ ve değişim miktarı $\Delta C = \pi \Delta d$ olacaktır. Buna bağlı olarak çevresel birim deformasyon, ε_d , aşağıdaki eşitlikte tanımlandığı gibi çapsal birim deformasyonun bir fonksiyonu olacaktır. Ve

$$\epsilon_c = \frac{\Delta C}{C_0} = \frac{\Delta d}{d_0}$$

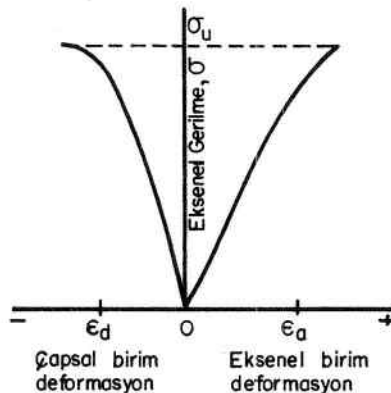
böylece $\varepsilon_c = \varepsilon_d$ olacaktır. Burada C_0 ve d_0 numunenin ilk çevre ve çap uzunluklarıdır.

d) Numunenin basma gerilimi, σ , kırılmadan önceki, basma yükünün, P , numunenin ilk kesit alanına, A_0 , bölünmesi ile elde edilir. Yani,

$$\sigma = P/A_0$$

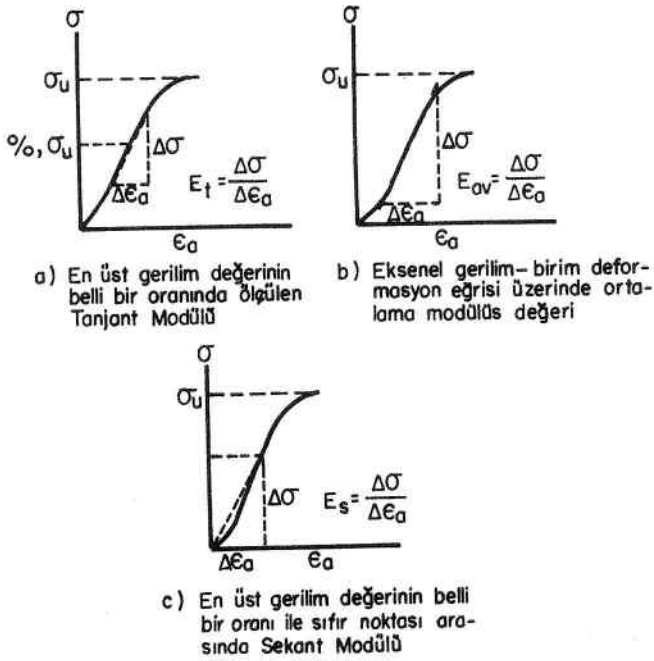
Bu deney yönteminde basma gerilmeleri ve birim deformasyonları artı değerlikli düşünülmektedir.

e) Çapsal ve eksenel birim deformasyonlara karşı eksenel yük eğrileri Şekil 1'de gösterilmektedir. Bu eğriler kayacın yüksüz konumdan azami yük, σ_u , konumuna kadar gösterdiği davranışı karakterize etmektedir. Eğrilerin bütünü lineer olmayan gerilim - birim deformasyon özelliğine sahip kayacın davranışını en iyi biçimde vermektedir.



Şekil 1. Eksenel ve Çapsal Gerilim - Birim Deformasyon Eğrilerinin grafiksel ifadesi.

f) Eksenel Young modülü, E (eksenel gerilimin eksenel birim deformasyona oranı olarak tanımlanır), değişik yöntemler kullanılarak hesaplanabilir. En genel anlamda kullanılan yöntemler aşağıda verilmektedir; Şekil 2.



Şekil 2. Young Modülünün Eksenel Gerilim - Birim Deformasyon Eğrisinden Hesaplanması.

I) Kayacın eksenel Young modülü, E_t , en üst gerilim değerinin, σ_u , belli bir oranında ölçülmektedir (Şekil 2a). Bu oran genellikle σ_u değerinin % 50'si olarak seçilmektedir.

II) Kayacın ortalama Young modülü, E_{av} , bütün eğri üzerinde yaklaşık düz (lineer) olan kısımda ölçülerek bulunur (Şekil 2b).

III) Kayacın secant Young modülü, E_s , genellikle sıfır yük noktasından belli bir yük seviyesine, genellikle % 50, olan kısımda ölçülür (Şekil 2c).

Bu değerler gerilim birimi olan Pascal (Pa) cinsinden ifade edilebilse de genellikle daha uygun katsayı olan Gigapascal (GPa = 10^9 Pa) cinsinden ifade edilir.

g) Poisson oranı, ν , aşağıdaki eşitlikten bulunur;

$$\nu = - \frac{\text{Eksenel gerilim - deformasyon eğrisinin eğimi}}{\text{Çapsal gerilim - deformasyon eğrisinin eğimi}}$$
$$\nu = - E / \text{Çapsal eğrinin eğimi}$$

Bu eşitlikte verilen çapsal eğrinin eğimi, yukarıda paragraf 4 (f)'de Young modülü için tanımlanan hesaplama yollarından biri kullanılarak bulunabilir. Eşitlikte çapsal eğrinin eğimi eksi değerlikli olacağı için Poisson oranı her zaman artı değerliklidir.

h) Her hangi bir yük değerinde hacımsal deformasyon, ϵ_v , eşitliği ile tanımlanır.

$$\epsilon_v = \epsilon_a + 2 \epsilon_d$$

5. SONUÇLARIN RAPORLANDIRILMASI

Deneyler sonucunda hazırlanacak raporda şu bilgiler yer almalıdır:

a) - j); Tek eksenli basma dayanımı deneyi için yapılanın aynısı,

k) Uygulanan yük, gerilim ve birim deformasyon değerleri bir tablo halinde verilmelidir.

l) Young modülleri ve Poisson oranları her numune için verilmeli ve ortalama değerler eklenmelidir,

m) Young modüllerinin hangi yöntem ile hesaplandığı ve hangi yük değerlerinde alındıkları belirtilmelidir,

n) Yukarıda açıklanan deney yöntemleri tanımlarına uymayan, fakat yapılması zorunluluk teşkil edebilecek numuneler olduğunda bu durum ayrıntıları ile raporda belirtilmelidir.

6. KAYNAKLAR

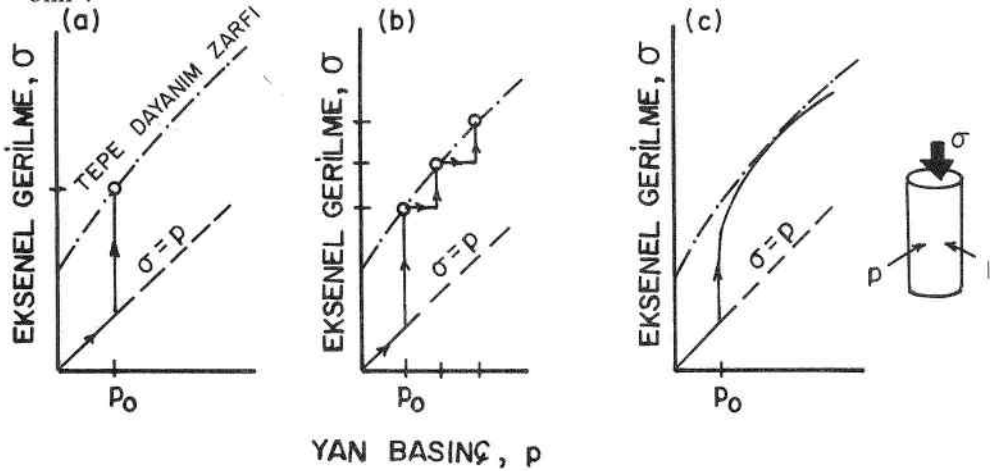
1. Standard Method of Test for Elastic Moduli of Rock Core Specimens in Uniaxial Compression. American Society for Testing and Materials, ASTM Designation D 3148 - 72.7

**KAYALARIN ÜÇ EKSENLİ BASINÇ ALTINDAKİ
DAYANIMININ BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEMLER**

Çeviren : A. Tamer DİNÇER*

1. AMAÇ VE GİRİŞ

Üç eksenli basınç deneyi için üç değişik yöntem tanımlanmıştır. Deneyler, silindirik deney numunelerinin dayanımını yan basıncın bir fonksiyonu olarak belirlemek için yapılmaktadır. Üç deney çeşidinin birbirinden farkını dayanım zarfını oluşturma biçimi belirler (Şekiller 1a - c). Deney tipi I'de (bireysel deney) her deney sonucunda kırılma (tepe dayanımı) 1^{**} zarfındaki bir tek nokta elde edilebilir ve zarfı oluşturmak için birkaç deney yapmak gerekir (Şekil 1a)². Deney tipi II (çok kırılma aşamalı deney, Şekil 1b) ve III'de (sürekli kırılma aşamalı deney, Şekil 1c) dayanım zarfı, deneyin basamaklı veya sürekli yapılması ile bir tek deneyde elde edilir. Bir tek numuneden elde edilen bilgi deney tipi I'den III'e doğru artar, fakat deneylerin için gerekli ekipman deney II ve III'dekinden daha fazladır. Önerilen yöntemlerde gözenek basınçlarının ölçümü ve numunenin drenajı gözönüne alınmamıştır. Eğer gözenek basıncının sonuçları etkileme durumu varsa, bu değişik nem oranlarına sahip numunelerde deneyler yapılarak araştırılabilir. Denemeler gözenek basıncının etkilediği yönünde eğilim gösterirse, deney yönteminde uygun değişiklikler yapılabilir³.



Şekil 1 1. Değişik üç eksenli deney tipleri
 (a) I - Bireysel deney
 (b) II - Çok kırılma aşamalı deney
 (c) III - Sürekli kırılma aşamalı deney

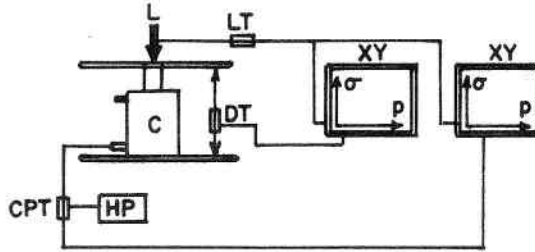
(*) Maden Yük. Müh., Maden Müh. Böl., ODTÜ, ANKARA

Burada önerilen yöntemler, bu konuda daha önce basılan dökümanın üzerine geliştirilerek basılmıştır.

2. DENEY DÜZENEGİ

2. 1. Genel Deney Ekipmanı

Deney ekipmanı genel olarak belirtilen birkaç özel durum dışında, bütün deney tipleri için aynıdır ve aşağıdaki gerekli olan parçalardan oluşmuştur (Şekil 2).



- L = Eksenel yük
- LT = Yük transduseri
- C = Üç eksenli hücre
- DT = Deformasyon transduseri (deney I için isteğe bağlı)
- CPT = Yan basınç transduseri
- HP = Yan basıncının uygulanması için aygıt

Şekil 2. Deney ekipmanının şematik gösterimi.

2. 2. Eksenel Yük Uygulama ve Kontrol Aygıtı⁴

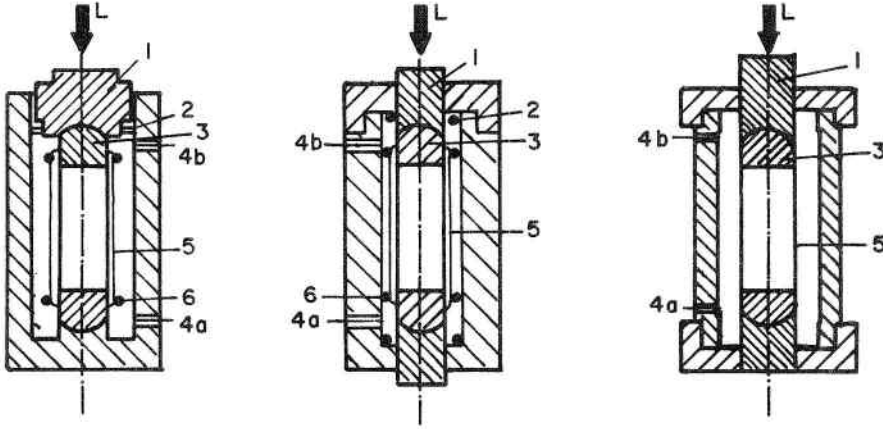
Kaya numunesine eksenel yükü uygulamada ve ölçmede tercihen stif bir yükleme makinası⁵ kullanılmalıdır. Makina, numuneyi seçilen yan basınçlarda kıracak kapasitede olmalı ve istenen oranda birim deformasyonlar uygulamak için yeterli olmalıdır. Uygun zaman aralıklarında yükleme makinası kalibre edilmelidir.⁴

2. 3. Üç Eksenli Hücre

Şunlardan oluşmuştur (Şekil 3):

(a) Numuneye yan basınç uygulamak için alternatif dizaynları Şekil 3'de gösterilen üç eksenli hazne.

(b) Numunenin alt ve üst yüzeyleri için Rockwell sertliği C30 dan düşük olmayan iki başlık (platen). Başlıkların çapı (eğer numunenin çapı "D" ise) D ve 1.02 x D arasında olmalıdır. Başlıkların kalınlığı enaz 15 mm. ya da D/3 kadar olmalıdır. Başlıkların yüzeyi pürüzsüz ve zımparalanmış olmalı, düzlükleri ± 0.005 mm. arasında olmalıdır.



Şekil 3. Üç eksenli hazne için üç olası dizayn

- 1 = Yükleme pistonu
- 2 = Başlık için yataklar
- 3 = Küresel yüzeyli başlıklar
- 4a = Hidrolik bağlantı
- 4b = Boşaltma deliği
- 5 = Membran
- 6 = Sıkıştırma contası
- L = Yükleme aygıtından uygulanan yük

(c) Her iki başlığa da yerleştirmek için küresel yataklar⁶. Yatak yüzeylerinin küresel eğim merkezi, numunenin alt ve üst yüzeylerinin merkezleri ile çakışmalıdır. Küresel yatakların yüzeyleri hafifçe yağlanmalıdır. Numune, başlıklar ve küresel yatakların herbiri diğerine göre aynı merkezde olacak şekilde yerleştirilmelidir.

(d) Sıkıştırmak için kullanılan yağın numuneye girmesini önlemek için, uygun maddeden yapılmış esnek bir membran kullanılmalıdır⁷. Membran, yüzey pürüzlüklerinin içine bariz bir biçimde girmemeli ve başlıkların üzerine de taşacak kadar yeterli uzunlukta olmalıdır. Hafifçe gerildiğinde numune ile aynı çapta olmalıdır.

2. 4. Yan Basıncı Uygulamak İçin Aygıt

Bir yağ pompası, ya da, yeterli kapasitede ve basıncı en az $\pm \% 1$ derecesinde ince olarak ayarlayabilen herhangi bir sistem kullanılabilir.

2. 5 Yük, Basınc ve Deplasmanları Ölçmek ve Kaydetmek İçin Ekipman

Şunları İçerir:

(a) Eksenel yükün sürekli ölçülmesi için gerekli aygıtlar.

(b) Yan basıncı ölçmek için basınç gösteren aygıtlar (basınç göstergeleri ya da transduserleri). Yaklaşık ölçüm aralıkları 0 - 15 MPa. ve 0 - 70 MPa. olan en az iki gösterge önerilmektedir⁸.

Deney tipi I için, yan basınç sabit tutulmakta ve sürekli kayıt gerekmemektedir. Deney tipi II ve III içinse, yan basıncı sürekli kayıt edebilmek için basınç transduserleri gereklidir.

(c) Numunenin eksenel deplasmanını okumak ve kayıt etmek için bir deplasman transduseri kullanılabilir. Bu, deney tipi II ve III için gerekli, I içinse ölçülmesi yararlı olan eksenel deplasmanların sürekli ölçüm ve kaydını mümkün kılar.

(d) Eksenel yük, eksenel deplasman ve sıkıştırma basınçları aralıklı olarak okunabilir ya da sürekli olarak kaydedilebilir. Sürekli olarak kayıt için x - y kaydediciler ya da analog gerçek zaman ekipmanı kullanılabilir. Deney tipi I'de, yalnızca eksenel yük ve deplasman değiştiği için, bir adet sürekli kayıt ya da aralıklı okuma aygıtı yeterlidir. II ve III'de ise, bütün verilerin sürekli kayıt ve kontrolü gereklidir. İki adet x - y kaydedici önerilmektedir: Biri eksenel yüke karşı deplasman, diğeri de eksenel yüke karşı yan basınç için.

3. DENEY NUMUNESİNİN HAZIRLANMASI

(a) Deney numuneleri, uzunluk çap oranı 2 - 3 arasında olan ve çapı tercihen en az NX karot boyutunda olan (yaklaşık 54 mm.) dik dairesel silindirlerdir. Numunenin çapı kayadaki en büyük tane boyutu ile ilgilidir ve mümkün olduğu takdirde en az 10/1 (çap/tane boyutu) oranı korunmalıdır.

(b) Numunenin alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel ve eksenel dik olarak kesilmeli, zımparalanmalıdır.

(c) Numunenin alt ve üst yüzeyleri ± 0.01 mm. düzlükte olmalı ve uzunlama eksenine olan dikliğinden sapma 0.001 radyandan (yaklaşık 3,5 dakika ya da 50 mm'de 0.05 mm.) fazla olmamalıdır.

(d) Numunenin kenarları düzgün olmalı, ani düzensizlikler olmamalı ve tüm kenar uzunluğu boyunca 0,3 mm limiti içinde doğrusal olmalıdır.

(e) Kaplama malzemesi kullanılmamalı ve makine tarafından yapılan dışında alt ve üst yüzeyde herhangi bir işlem yapılmamalıdır.

(f) Numunenin üst, orta ve alt kısmında birbirine dik açılarla ölçülen üç çap değerinin ortalaması alınarak numunenin çapı 0,1 mm. ye yuvarlanarak bulunur. Kesit alanının hesaplanmasında ortalama çap kullanılır¹⁶. Numunenin boyu en az 1 mm. hassaslıkla ölçülmelidir.

(g) Numuneler doğal su içeriklerini numune hazırlanmasına kadar koruyacak şekilde saklanmalıdır ve 30 gün sürenin geçirilmemesi önerilmektedir⁹. Numunenin nem oranı "Kaya Numunelerinin Su İçeriklerinin Tayini için Önerilen Yöntemler"e dayanılarak rapor edilmelidir.

(h) Numune sayısı, gerekli olan yan basınç aralığında dayanım zarfını doğru olarak tanımlamaya yetecek kadar olmalıdır. Gerekli olan sayı sonuçların uygulanacağı alana, kayanın özelliklerine ve deney tipine (I, II ve III) göre değişebilir.

4. DENEY YÖNTEMLERİ

4.1. Genel

Aşağıdaki yöntem her üç deney içinde uygulanmaktadır.

(a) Eğer kullanılacaksa kayıt ve okuma aygıtlarının hazırlanması, ölçeklerin seçilmesi ve gerekli olanların kalibre edilmesi.

(b) Numunenin, başlıkların, membranın, üç eksenli haznenin ve ölçüm için gerekli aygıtların birleştirilip deneye hazır hale getirilmesi. Asıl yöntem üç eksenli hücre tipine, ölçüm aletlerinin tip ve yerleşimine bağlı olacaktır.

(c) Hidrolik besleme hortumunun bağlanması ve üç eksenli hücrenin yağ ile doldurulması.

(d) Üç eksenli hücrenin eksenel yükleme aygıtına yerleştirilmesi.

(e) Başlangıç yan basınç değerinin seçilmesi.

4. 2. Yöntem I: Bireysel Deney

(a) Eksenel yük ve yan basınç daha önce belirlenen yan basınç değerine erişilinceye kadar aynı oranda artırılır^{10,11}

(b) Numunenin üzerindeki eksenel yükleme oranı sabit bir birim deformasyon oranına karşılık gelmelidir, öyle ki kırılma yüklemenin 5 - 15 dakikası içinde olsun. Alternatif olarak, basınç artırım oranı 0,5 - 1,0 MPa/saniye limitleri içerisinde olabilir.

(c) Numune üzerine uygulanan maximum eksenel yükün ve sıkıştırma basınçlarının kayıt edilmesi yeterlidir. Ek olarak, eksenel yük ve deplasmanın da sürekli kaydı tavsiye edilmektedir.

4. 3. Yöntem II: Çok Kırılma Aşamalı Deney

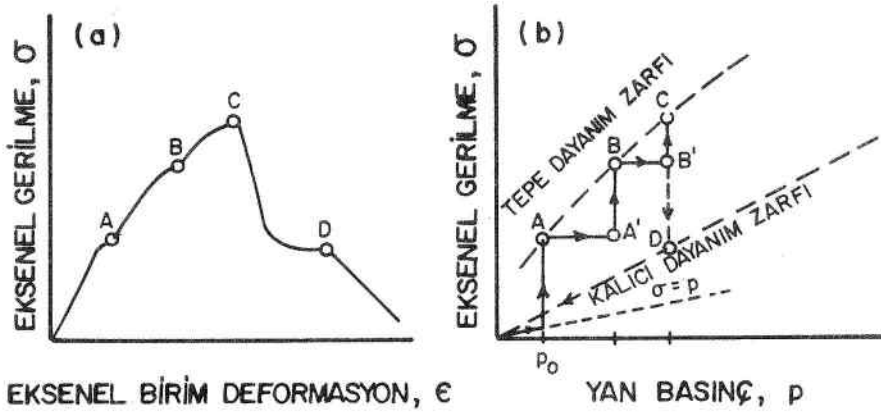
(a) Başlangıç yan basınçın (P_0) uygulanması. Hidrostatic basınç başlangıç yan basınç değerine (P_0) ulaşıncaya kadar, eksenel yük ve yan basınç aynı oranda artırılmalıdır¹⁰

(b) Bundan sonra, yan basınç sabit tutularak (P_0)¹¹ eksenel gerilme - eksenel birim deformasyon eğrisinde tepe dayanımı gözleninceye kadar (A noktası, Şekil 4a)¹² eksenel yük artırılır. Eksenel yük, birim deformasyon oranı 10^{-5} /saniye ile 10^{-2} /saniye limitleri içerisinde sabit kalacak şekilde sürekli olarak artırılmalıdır.

(c) Bu noktaya ulaşıldıktan sonra, yan basınç manuel olarak bir kerede artırılır (A dan A'ya, Şekil 4b). Bunu eksenel yükün hemen yukarıdaki (b) şıkkına uygun olarak artırımı izler.

(d) Yukarıdaki (b) ve (c) basamaklarında açıklananlar seçilen noktaya ulaşıncaya kadar (C noktası, Şekil 4) tekrarlanır. En sonunda yan basınç eksenel yükleme devam ederken sabit tutulur. Bu kırılmaya neden olacaktır ve eksenel gerilime kalıcı değerine düşer (D noktası, Şekil 4)¹³.

(e) Yan basınç numune tamamen yüksüz kalıncaya kadar sürekli olarak düşürülür (Şekil 4). Eksenel gerilmeye karşın yan basınç eğrisi, kalıcı dayanım zarfını izler. Yöntemi şimdi anlatılan deney tipi II ve deney tipi III ile, bir deney sonucunda tepe dayanımı zarfının tamamını ya da yeterli bir parçasını elde etmek mümkündür. Fakat deney tipini seçerken, kontrol olanaklarının ve tecrübenin deney tipi III'de daha çok gerektiği göz önüne alınmalıdır.



Şekil 4. Çok kırılma aşamalı üç eksenli deneyi
 (a) Eksenel gerileme - eksenel birim deformasyon eğrisi
 (b) Eksenel gerileme - yan basınç eğrisi

4. 4. Yöntem III: Sürekli Kırılma Aşamalı Deney

(a) Başlangıç yan basıncın (P_0) uygulanması. Hidrostatik basınç başlangıç yan basınç değerine (P_0) ulaşıncaya kadar, eksenel yük ve yan basınç aynı oranda artırılmalıdır¹⁰.

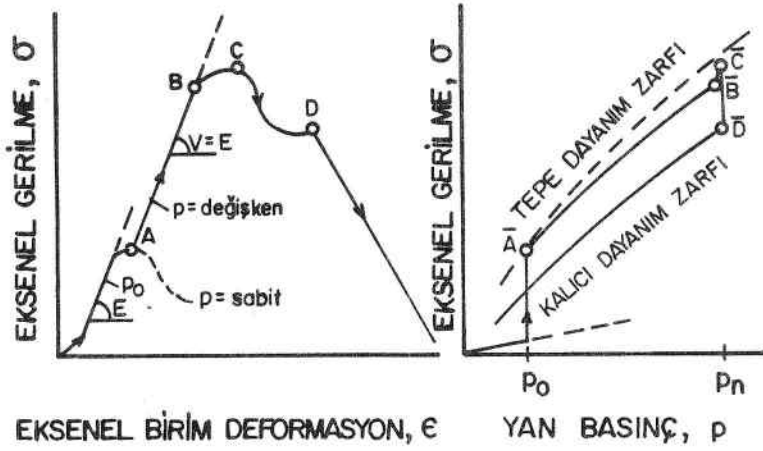
(b) Bundan sonra, yan basınç sabit tutularak (P_0)¹¹ eksenel gerileme - eksenel birim deformasyon eğrisinde tepe dayanımı gözleninceye kadar (A noktası, Şekil 5)¹² eksenel yük artırılır. Eksenel yük, birim deformasyon orkanı 10^{-5} / saniye ile 10^{-2} / saniye limitleri içerisinde sabit olarak ve A noktasına yüklemenin 5 - 15. dakikası içinde ulaşılacak şekilde sürekli artırılmalıdır.

(c) A tepe noktasından başlamak üzere¹⁵, başlangıç eksenel yük - deformasyon eğrisinin doğrusal kısmına paralel olarak AB doğrusu çizilir (Şekil 5a). Bu doğrunun eğimi (V) $V = E$ olacaktır ve E başlangıç yük - deformasyon eğrisinin doğrusal kısmının eğimi yerine kullanılmıştır.

(d) Eksenel yük seçilen oranda artırılırken (b şıkkı), yan basınç aynı anda öyle artırılır ki, x - y kaydedicinin kalemi AB doğrusunu izlesin. Bu arada, eksenel yük ve yan basınç değişkenleri, ikinci x - y kaydedici kullanılarak sürekli olarak alınmalıdır.

(e) Seçilen bir B noktasında (Şekil 5a), yan basınç sabit tutulurken ($P = P_n$)¹¹ eksenel yükün artırılmasına devam edilir. Bunun sonucunda, C noktasında kırılma olacak şekilde AB doğrusundan bir sapma olacaktır¹⁴. Numuneye daha fazla eksenel yük uygulandığı takdirde, eksenel gerileme kalıcı değerine düşecektir (D noktası, Şekil 5a)¹³.

Yan basınç numune tamamen yüksüz kalıncaya kadar sürekli olarak düşürülür (Şekil 5). Eksenel gerilmeye karşı yan basınç eğrisi, kalıcı dayanım zarfını izler^{13,15}.



Şekil 5. Sürekli kırılma aşamalı deney.

5. HESAPLAMALAR.

(a) Numuneye uygulanan eksenel yükün, 3 no'lu spesifikasyonda (Deney Numunesinin Hazırlanması) belirtilen şekilde bulunan kesit alanına bölünmesiyle, eksenel gerileme hesaplanır¹⁶.

(b) Deney tipi III'de, tepe dayanımı ve kalıcı dayanım zarfları direkt olarak bulunur. Benzer zarflar, deney I ve II'de veri noktalarından geçen eğrilerin çizilmesiyle elde edilebilir (Şekiller 1a ve b).

Tepe ve kalıcı dayanım zarfları, $\sigma = m_i \times p + b_i$ eşitliğine göre doğrusal ya da iki doğrusal parça olarak matematiksel yaklaşımla tanımlanabilir. Y-eksenini kestikleri nokta (b_i), eğim açısının tanjantı (m_i) ve uygulanan yan basınç aralığı kullanılarak doğruların konumları belirlenir (Şekil 6). m ve b parametreleri kullanılarak, iç sürtünme açısı (ϕ) ve görünür kohezyon (c) aşağıdaki eşitliklerden hesaplanabilir (Coulomb Kırılma Teorisi)¹⁷.

$$\phi_i = \arcsin \left(\frac{m_i - 1}{m_i + 1} \right) ; c_i = b_i \left(\frac{1 - \sin \phi_i}{2 \times \cos \phi_i} \right)$$

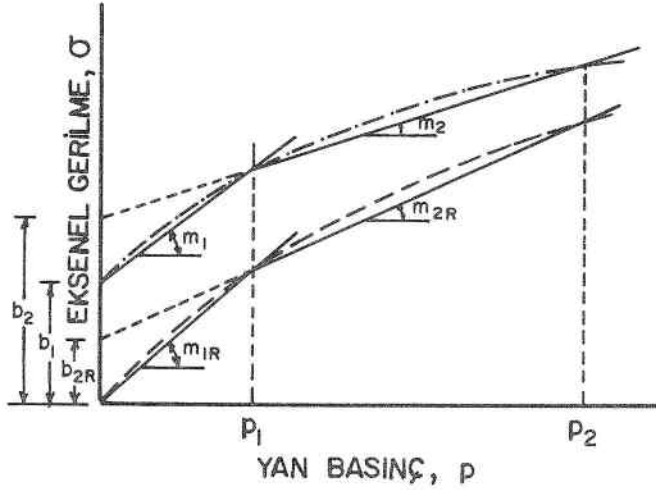
6. SONUÇLARIN RAPORLANDIRILMASI

Bir rapor en azından aşağıdakileri içermelidir:

(a) Coğrafi konum, derinlik ve pozisyon, tarih ve örnekleme yöntemi belirtilerek numunenin kaynağının verilmesi. Eğer mümkünse, numunenin alındığı yeri gösteren bir harita eklenmelidir.

(b) Kayanın tane boyutunu da içeren litolojik tanımlaması.

(c) Deney numunesini hazırlamada kullanılan yöntemler hakkında bilgi, ayrıca numunenin saklandığı yer ve zaman gibi ayrıntılar.



Şekil 6. Tepe ve kalıcı dayanımlar için dayanım zarfları ve bunların doğrusal iki parça halinde m_1 , b_1 ve m_{1R} , b_{1R} parametreleri ile gösterimi.

(d) Yükleme ekseninin numunedeki düzensizliklere, tabakalanmaya, vs. göre konumu.

(e) Deney yapıldığı zamandaki nem oranı ve doygunluk derecesi.

(f) Deney ekipmanının belirtilmesi (yükleme aygıtı, üç eksenli hücre, yan basıncı uygulamak ve ölçmek için kullanılan aygıtlar).

(g) Deneyin yapıldığı tarih.

(h) Numunenin boyu ve çapı.

(i) Deney süresi ve/veya basınç ve deplasmanın zamana göre oranları.

(j) Deneyde elde edilen grafikler (spesifikasyonlar 2. 4d, 4.2, 4.3 ve 4.4). Bireysel deneylerden, yan basınçlar ve karşılık gelen eksenel dayanımların listelendiği tablo.

(k) Kırılma modu.

(l) Tepe ve kalıcı dayanım için, kohezyon ve iç sürtünme açısının hesaplanan değerleri ve geçerli yan basınç aralığı.

(m) Herhangi başka gözlemler. Örneğin: özgül ağırlık, gözeneklilik ve bu özelliklerin nasıl belirlendiği gibi.

NOTLAR:

1. Uygulanan bir yan basınçta, deney numunesinin dayanabileceği en yüksek eksenel gerilme tepe dayanımı olarak tanımlanmıştır.

2. Bu noktada, yalnızca deney tipleri arasındaki ana ayrımlar verilmiştir. Yöntemlerin ayrıntıları 4 numaralı bölümde anlatılmıştır.

3. Gözenek basıncı kaya cinsine, nem oranına ve birim deformasyon hızına bağlı olarak etkiler. Bu nedenle, nem oranı ve gözenek basıncı etkileri için genel bir yöntem önerilemez. Ayrıca, genel olarak uygulanabilecek gözenek basıncı deney ve ölçüm yöntemleri de oluşturulmamıştır.

4. Yükleme aygıtları ve ilgili kalibre yöntemleri için gerekli koşullar ulusal standartlarda verilmiştir; örneğin, "ASTM Yöntemi 4 - 64, Deney Makinalarının Kontrolü", İngiliz Standartları 1610: 1964, Nitelik A ya da Alman Standartları DIN 51 220, DIN 51 223 ve DIN 51 300, sınıf 1.

5. Stif yükleme makinalarının stifliği 0.2 MN/mm'nin üzerinde ve genellikle 1 ve 2 MN/mm'nin arasındadır. Eğer stiflik 0.1 MN/mm'nin altındaysa yükleme makinaları esnek olarak düşünülür. Kendini kontrol edebilen yükleme makinalarının kullanımı önerilmektedir.

6. Yükleme makinalarında, küresel yatakların içbükey yarıları genellikle dönme-ye uygun değildir. Yerleştirme sırasında kendi kendinin doğrusallığını ayarlayabilmesi için deney numunesine iki küresel yatak konmalıdır.

7. Sertliği yaklaşık olarak 60 - 70 shore olan membran, deney numunesinin yanıl deformasyonundan gelen direnci yenecek kadar esnek olmalıdır.

8. Basınç göstergelerinin hassaslığı uygulanacak basınçtan 4 - 5 kez daha iyi olmalıdır.

9. Bazı durumlarda, bazı maddelerin değişik nem koşullarında deneylerin yapılması gerekli olabilmektedir. Deney raporunda bu koşullar not edilmelidir.

10. Yan basıncın sıfırdan istenen seviyeye çıkarılması deney ekipmanına bağlıdır. İdealde istenen yan basınç seviyesine kadar, ilk yükleme hidrostatik gerilme koşulları oluşacak şekilde yapılmalıdır ($\sigma = p$). Fakat yükleme sırasında yan basıncın kazara eksenel gerilmekten fazla olması durumunda, yükleme pistonu deney numunesinden ayrılabilir (örneğin, küresel yatakların yarıları ayrılabilir) ve numunenin yerleştirmedeki doğrusallığı bozulabilir. Düzenekteki sürtünme, numunenin yeniden düzgün konumuna dönmesini engelleyebilir. Bu yüzden, eksenel gerilme yan basıncı sürekli olarak geçecek, fakat aradaki fark tek eksenli dayanım değerinin onda birini geçmeyecek şekilde eksenel yük ve yan basınç artırılmalıdır.

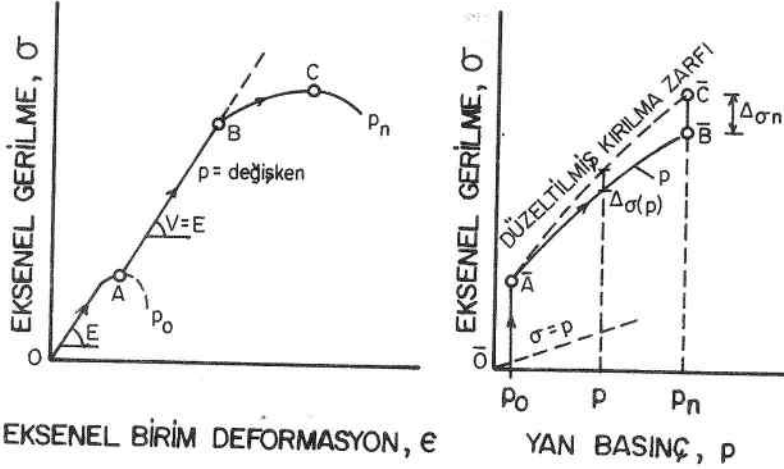
11. İstenilen yan basınca ulaşıldıktan sonra, basınç değeri $\pm$ % 2 sınırı içinde sabit tutulmalıdır.

12. Eksenel yüke karşı eksenel deplasman veya direkt olarak eksenel gerilmeye karşı eksenel birim deformasyon ya da herhangi bir kombinasyon kayıt edilebilir ve ya çizdirilebilir. Neyin kaydedileceği ya da çizdirileceği ölçüm ekipmanına (deplasman transduserleri ya da birim deformasyon ölçerler) ve kalibrasyon yöntemlerine bağlıdır.

13. Burada kalıcı dayanım terimi, üç eksenli deneylerde yeterli olarak elde edilebilen, belli birim deformasyonlarda kırıldıktan sonra dayanım anlamında kullanılmıştır. Bu birim deformasyonlar, bazı materyallerin gerçek kalıcı dayanımına ulaşmada yetersiz olabilir. Bu durumlarda, gerçek ya da büyük deplasmanlı kalıcı dayanım değerleri gerekirse, başka deneylerin yapılması zorunludur.

14. Eksenel gerilmedeki fark $A\sigma_n$, gerilmenin B'den C'ye yükselmesi bir dayanım rezervini gösterir. Açık olarak görülmektedir ki; numune, kırılma öncesi koşullara karşılık olarak, b eğrisi boyunca gerilme aşamalarından geçmektedir (Şekil 7). Gerilme artımının ($A\sigma_n$) bilinmesiyle, b eğrisi ile gerçek dayanım zarfı arasındaki farkı düşürmek amacıyla, b eğrisi şöyle düzeltilebilir:

$$\sigma(p) = A\sigma_n \frac{p - p_0}{p_n - p_0}$$



Şekil 7. $V = E$ eğiminde, dayanımın korunmasını sağlayarak ön kırılmaya neden olan Deney III.

15. Materyalin oldukça kırılğan olması ya da yükleme makinasının stifliğinin düşük olması durumunda, tepe dayanımında ani kırılmalar olabilir. Bu durumlarda, tepe dayanımları için hiç bir eğri elde edilemez, yalnızca kalıcı dayanım için elde edilebilir.

16. Gerçek eksenel gerilmelerin belirlenebilmesi için yanal deformasyonların ölçülmesi ve orijinal kesit alanının buna göre düzeltilmesi gerekir.

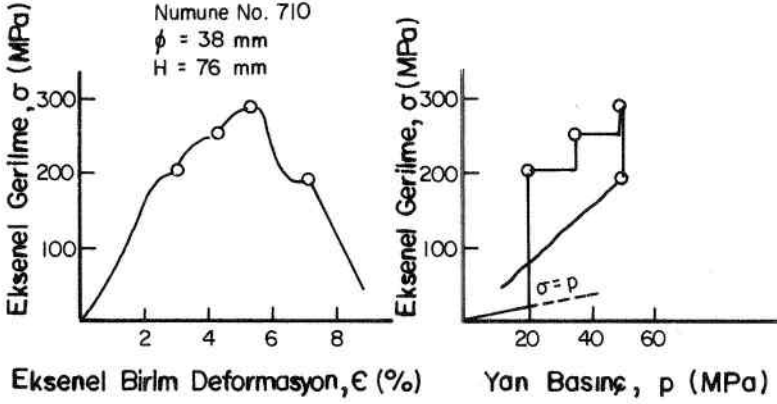
17. Kohezyon, c , burada normal fiziksel anlamından farklı olarak yalnızca kırılma zarfını tanımlamak amacıyla kullanılmıştır. Özellikle dikkat edilmelidir ki, madde-nin çekme dayanımı hakkında görünür kohezyon değeri kullanılarak karar verilemez.

KAYNAKLAR:

1. Franklin J. and Hoek E. Developments in triaxial testing technique. Rock Mech. 2,223 - 228 (1970).
2. Jaeger J.C. and Cook N.G.W. Fundamentals of Rock Mechanics Methuen, London (1976).
3. Kovari K. and Tisa A. Multiple failure state and strain controlled triaxial test. Rock Mech. 7,77 - 33 (1975).
4. Kovari. K., Tisa A. and Attinger R.O. The concept of continuous failure state: tri-axial tests. Rock Mech. Rock Engng 16 (2), 117 - 131 (1983).

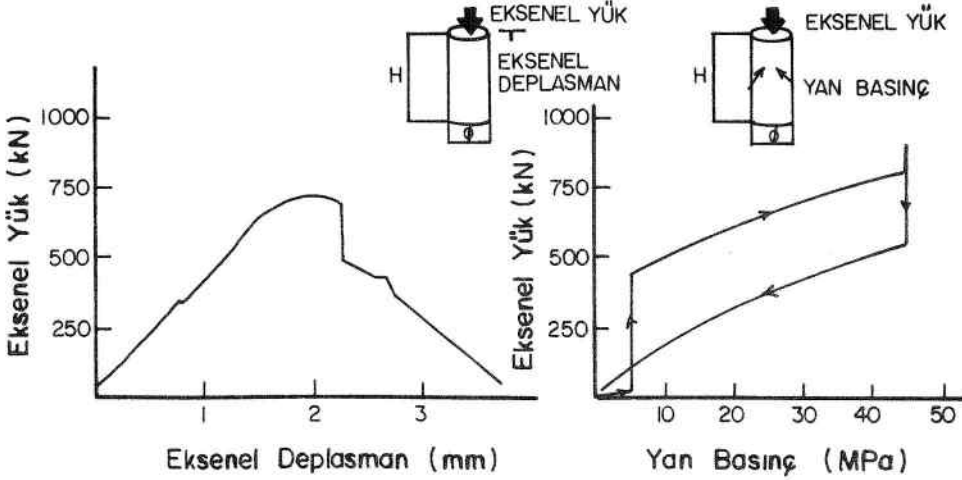
EK A1

Çok Kırılma Aşamalı Deney



EK A2

Sürekli Kırılma Aşamalı Deney



KAYALARIN ÇEKME DAYANIMININ BELİRLENMESİ İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEMLER

Çeviren : Mete YEŞİL*

BÖLÜM 1: DİREKT ÇEKME DAYANIMINI BELİRLEMEK İÇİN YÖNERİLEN YÖNTEM

1. AMAÇ

Bu deney yöntemi, düzgün geometrik şekildeki bir kaya numunesinin tek eksenli çekme dayanımını direkt olarak ölçmek amacıyla tasarlanmıştır. Deney, temel olarak zedelenmemiş sağlam kayanın ayırtkanlığı ve sınıflandırılması amacını taşır.

2. DENEY DÜZENEGİ

(a) Numuneye eksenel yük uygulamak ve ölçmek için uygun bir makina kullanılmalıdır. Makine, Bölüm 3'te açıklanan gereklere uyacak biçimde bir hızla yük uygulama yeteneğine ve yeterli kapasiteye sahip olmalıdır. Uygun zaman aralıklarında kontrol edilmeli ve ASTM Yöntemleri E4, Test Makinelerinin Kontrolü veya İngiliz Standartları 1610 - Nitelik A veya Alman Normu DIN 51 220 ve DIN 51 223, Klas 1 gibi kabul edilmiş ulusal gereklere uymalıdır.

(b) Silindirik metal başlıklar, direkt tekeksenli çekme yükü uygulanmasını sağlayacak biçimde, numune uçlarına yapıştırılmalıdır. Metal başlıkların çapı, ne deney numunesinin çapından düşük olmalı ne de deney numunesi çapını 2 mm'den fazla geçmelidir. Başlıklar enazından 15 mm'lik bir kalınlığa sahip olmalıdır. Başlıklar, yükleme aygıtından deney numunesine yük aktarmayı sağlayabilecek uygun bir bağlantı sistemiyle donatılmış olmalıdır. Bağlantı sistemi öylesine tasarlanmış olmalıdır ki yük, eğilme veya burulma gerilemeleri uygulanmaksızın deney numunesinin eksenini boyunca aktarılabilir. Her iki uçtaki bağlantıların uzunluğu en azından metal başlıkların çapının iki katı olmalıdır.*

3. DENEY YÖNTEMİ

(a) Test numuneleri, tercihen NX karot ebatından küçük olmayan yaklaşık olarak 54 mm'lik bir çapa ve 2.5 ila 3.0'lük bir boy - çap oranına sahip, düzgün dairesel silindirler olmalıdırlar. Numune çapı, kaya içindeki en büyük tanecik boyutu ile 10:1'lik bir oranla ilişkilendirilmelidir.

* ASTM Standartları Yılığ, Deney D2936 - 71'e göre, uygun kapasitede bir merdaneli veya halkalı zincir, bağlantı sistemi olarak uygun bulunmuştur. Çünkü, merdaneli zincir sadece bir düzlemde eğilir ve deney numunesi içinde bükülmeyi azaltmak için en alt ve üst parçalar birbirlerine dik açıyla konumlandırılır. Mafsal, halat veya benzeri düzenekler uygun bulunmamıştır çünkü, bunların burulma ve bükülmeye olan eğilimleri, deney numunesi üzerine uygun bir şekilde direkt çekme gerilmesi uygulanmasını olanaksız kılmaktadır.

(b) Numunenin alt ve üst yüzeyleri mümkün olduğu kadar düzgün ve pürüzsüz olmalıdır*. Bu yüzeyler, numune eksenine olan dikeyliğinden 50 mm'de 0.05 veya 0.001 radyandan (3.5 dak. civarı) daha fazla ayrılmamalıdır.

(c) Numunenin yanal yüzeyleri; pürüzsüz, ani ve sert düzensizliklerden arınmış ve numunenin tüm uzunluğu üzerinden hata payı en fazla 0.1 mm. olmalıdır.

(d) Deney numunesinin çapı, numunenin orta kısımlarından birbirine dik açıyla ölçülmüş iki değerin ortalaması alınarak 0.1 mm duyarlılıkta ölçülmelidir. Ortalama çap enine - kesit alanını hesaplamak için kullanılmalıdır. Numunenin boyu 1.0 mm duyarlılıkta belirlenmelidir.

(e) Kaya numuneleri, 30 günden fazla olmamak koşuluyla, deney numunesinin hazırlanacağı zamana kadar, doğal su içeriği mümkün olduğunca korunacak bir biçimde saklanmalıdır. Numuneler, deney yapılmadan önce $5 - 6$ gün süreyle $20^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ sıcaklık ve $\% 50 \pm \% 5$ nem oranına sahip bir ortamda saklanmalıdır*† Bu nem koşulu "Kaya Numunesinin Su İçeriğinin Belirlenmesi İçin Önerilen Yöntemler" uyarınca rapor edilmelidir.

(f) Metal başlıklar, deney numunesinin numune eksenine ile başlık eksenleri aynı hizada olacak biçimde yapıştırılmalıdır. Yapıştırıcı tabakanın kalınlığı, her iki yüzeyde de 1.5 mm'yi geçmemelidir. Yapıştırıcı sertleşip numunenin çekme dayanımını geçtikten sonra, deney numunesi deney aletine, yük aktarma sisteminin uygun bir şekilde hizalanmasını sağlayacak bir biçimde yerleştirilir.

(g) Çekme yükü numune üzerine, numunenin 5 dakika içinde kırılmasını sağlayacak sabit bir gerilme hızıyla veya alternatif olarak, gerilme hızı 0.5 MPa/s ila 1.0 MPa/s olacak bir biçimde sürekli olarak uygulanmalıdır.

(h) Numune üzerindeki en fazla yük, $\% 1$ duyarlılıkta kaydedilmelidir.

(i) Kaya numunesi başına düşecek deney numunesi sayısının, pratik koşullara göre belirlense de, en azından beş tane olması yeğlenir.

4. HESAPLAMALAR

Deney numunesinin çekme dayanımı, numuneye uygulanan en fazla yükün, numunenin asıl enine - kesit alanına bölünmesiyle hesaplanmalıdır.

5. SONUÇLARIN RAPORLANDIRILMASI

(a) Kayanın litolojik tanımlaması.

(b) Yükleme ekseninin, tabakalanma yüzeyleri, yapraklanma... vb. gibi numune anizotropisine göre konumu.

(c) Numunenin kaynağı, coğrafik yeri, derinliği ve konumu, numune alımının tarihi ve depolamasının tarihi ve çevre koşulları.

(d) Deneyi yapılan numune sayısı.

(e) Deney numunesinin çapı ve boyu.

* Çekme deneylerinde, numunenin alt ve üst yüzeyleri düzlük ve pürüzsüzlük derecesi bakımından basma deneylerindeki kadar kritik değildir. Elmas bir testereyle kesilerek oluşmuş yüzeyler tamamen yerlidir.

*† Bazı durumlarda bazı malzemeler için (şist gibi) farklı nem koşullarında, örneğin suya doyurulmuş veya 105°C 'ta kurutulmuş olarak, numunelerin deneyinin yapılması istenebilir. Bu koşulların deney raporunda belirtilmesi gerekir.

- (f) Deney anındaki su içeriği ve suya doyma derecesi.
- (g) Deney süresi ve/veya gerilme hızı.
- (h) Deney tarihi ve deney aygıtının çeşidi.
- (i) Kırılma tarzı yani kırılma yüzeyinin yeri ve konumu.
- (j) Diğer gözlemler veya herbirinin belirlenme yöntemleri de açıklanan yoğunluk, gözeneklilik ve geçirgenlik gibi elde edilebilir fiziksel veriler.
- (k) Bazı durumlarda yukarıda açıklanan maddelere uymayan numunelerin deneyi gerekebilir. Bu durum deney raporunda belirtilmelidir.

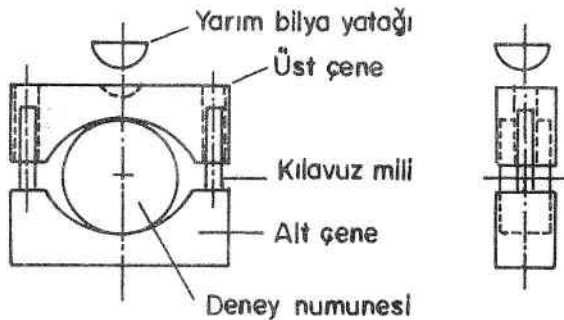
BÖLÜM 2: BRAZILIAN DENEYİ İLE DOLAYI ÇEKME DAYANIMINI BELİRLEMEK İÇİN ÖNERİLEN YÖNTEM

1. AMAÇ

Bu deney, hazırlanmış deney numunelerinin tek eksenli çekme dayanımlarını, dolaylı olarak Brazilian deneyi ile belirlemek amacıyla tasarlanmıştır. Bu deneyin doğruluğu deneysel gerçeklere dayanmaktadır ki, bir çok kayaç, biri çekme asal gerilmesi, diğeri değer olarak çekme asal gerilmesinin üç katını geçmeyen basma asal gerilmesi olan iki eksenli gerilme alanı içerisinde, tek eksenli gerilme dayanımında çekme sonucu kırılır.

2. DENEY DÜZENEĞİ

(a) Disk şeklindeki numunenin çap olarak zıt yüzeylerine bir yay boyunca, kırılma anında yaklaşık olarak 100° 'de temas sağlayacak şekilde tasarlanmış iki adet çelik çene. Bu amaçla önerilen aygıt Şekil 1'de gösterilmektedir.



Şekil 1. Brazilian Deneylerinde Kullanılan Çelik Çeneli Aygıt.

Bu çeneli aygıtın en önemli boyutları, çene kavislerinin yarıçapı, kavisli çeneleri birleştiren kılavuz millerinin uzunluk ve açıklıkları ve çenelerin genişliğidir. Bu boyutlar şöyledir:

Çene yarıçapı - $1.5 \times$ numune yarıçapı,

Kılavuz mili açıklığı - bir çenenin diğerine göre aygıt düzleminden 4×10^{-3} rad-yan dışarı dönmesini sağlayacak şekilde (kılavuz milinin 0.1 mm'lik açıklıkla 25 mm. içeri girmesi),

Çenelerin genişliği - $1.1 \times$ numune kalınlığı,

Diğer boyutlar Şekil 1'e bakılarak ölçeklendirilebilir. Üst çene, 25 mm çapında bir yarım - bilya yatağı tarafından uygun şekilde biçimlendirilmiş bir küresel yuva içerir.

(b) Numune kalınlığına eşit veya biraz büyük genişlikte, iki katlı (0.2 - 0.4 mm) bir tarafı yapışkan ambalaj bandı.

(c) Numuneye basma yükü uygulamak ve ölçmek için uygun bir makine. Makine, Bölüm 3'te belirtilen gereklere uyacak biçimde bir hızla yük uygulama yeteneğine ve yeterli kapasiteye sahip olmalıdır. Uygun zaman aralıklarından kontrol edilmeli ve ASTM Yöntemleri E4, Test Makinelerinin Kontrolü veya İngiliz Standartları 1610 - Nitelik A veya Alman Normu DIN 51 220 ve DIN 51 223, Klas 1 gibi kabul edilmiş ulusal gereklere uymalıdır.

(d) Deney makinesi başlığının, eğer varsa, küresel tabanı kenetlenmiş bir durumda yerleştirilmeli, makinenin iki yükleme yüzeyi birbirine paralel olmalıdır. Zorunlu olmamakla birlikte, kırılma yükünün ölçülmesine yardımcı olmak ve yüke karşı deplasmanı kaydetmek amacıyla, test makinesinin bir kalemli - kaydedici ile donanmış olması tercih edilir.

3. DENEY YÖNTEMİ

(a) Deney numuneleri temiz su kullanılarak kesilmiş ve hazırlanmış olmalıdır. Silindirik yüzeyler görünür alet izlerinden arınmış olmalı ve numunenin kalınlığı boyunca düzensizlikler 0.025 mm'yi geçmemelidir. Alt ve üst yüzeyler, 0.25 mm. hata payıyla düz ve 0.25° hata payıyla birbirine paralel olmalıdır.

(b) Deney numunesinin yöneltisi bilinmeli, su içeriği ölçülmeli ve "Kaya Numunesinin Su İçeriğinin Belirlenmesi İçin Önerilen Yöntemler" uyarınca rapor edilmelidir.

(c) Numune çapı NX karot ebadından küçük olmamalı (yaklaşık 54 mm.) ve numune boyu yaklaşık olarak numunenin yarı çapına eşit olmalıdır.

(d) Numunenin etrafı bir kat ambalaj bandı ile sarılmalı ve numune çelik aygıt içerisine dik olarak yerleştirilmelidir ki her ikisinin dönme eksenleri çakışsın ve yük numunenin alt ve üst yüzeylerine çapı boyunca uygulanabilsin.

(e) Yük numune üzerine, en zayıf kayacın 15 - 30 saniye içinde kırılmasını sağlayacak şekilde, sabit bir hızla sürekli olarak uygulanmalıdır. 200 N/s'lik bir yükleme hızı tavsiye edilir.

(f) Yük - deformasyon kaydedicisi ile donatılmış bir test makinesinde, ilk kırılmanın tam olarak belirlenmesi için deney süresince kayıt alınmalıdır (bazı durumlarda, ilk kırılmadan sonra çatlamış numunenin hala yüke dayandığı ve yükün artmaya devam ettiği gözlenir). Eğer test aygıtı yük - deplasman kaydedicisi ile donatılmışsa, ilk kırılma yükünün belirlenmesi için deney yapan kişinin çok dikkat etmesi gerekir. İlk kırılma anında yk göstergesinde açık bir duraklama olacaktır. Bununla birlikte, ilk kırılma yükü ile en son yük taşıma kapasitesi arasındaki fark sadece % 5 civarındadır.

(g) Kaya numunesi başına düşecek deney numunesi sayısı, pratik koşullara göre belirlensede, normal olarak 10 tane olmalıdır.

4. HESAPLAMALAR

Numunenin ekme dayanımı σ_t , aşağıdaki formülden hesaplanır:

$$\sigma_t = 0.636 P / Dt \text{ (MPa)}$$

P kırılma yükü (N), D deney numunesinin çapı (mm) ve t deney numunesinin merkezden ölçülen kalınlığıdır (mm).

5. SONUÇLARIN RAPORLANDIRILMASI

- (a) Kayanın litolojik tanımlaması.
- (b) Yükleme ekseninin, tabakalanma yüzeyleri, yapraklanma vb. gibi numune anizotropisine göre konumu.
- (c) Numunenin kaynağı, coğrafik yeri, derinliği ve konumu, numune alımının tarihi ve depolamanın tarihi ve evre koşulları.
- (d) Deneyi yapılan numune sayısı.
- (e) Deney numunesinin çapı ve boyu.
- (f) Deney anındaki su içeriği ve suya doyma derecesi.
- (g) Deney süresi ve gerilme hızı.
- (h) Deney tarihi ve deney aygıtının çeşidi.
- (i) Kırılma tarzı.
- (j) Diğer gözlemler veya herbirinin belirlenme yöntemleri açıklanan yoğunluk, gözeneklilik ve geçirgenlik gibi elde edilebilir fiziksel veriler.
- (j) Kaya numunesi için ortalama sonuçla birlikte, her deney numunesinin çekme dayanımı.

6. KAYNAKLAR

MELLOR M., HAWKES I., 1971. *Measurement of Tensile Strength by Diametral Compression of Discs and Annuli. Engng Geol. 5., p. 173 - 225.*

