

## **KESKİ AŞINMASININ TAHMİNİ İÇİN YAPILAN BAZI** **KAYA DENEYLERİ**

### **1. KAROT ALMA VE KESME – ÖRNEK HAZIRLAMA**

**Karot:** Karot makinesiyle alınan silindir şeklindeki örneklerdir.

**Karot Alma Makinesi:** Kayacı silindir şeklinde delerek bloklardan karot numune alınmasını sağlayan makine.

**Karotiyer (Karot Ucu):** Karot alma makinesine takılarak çalışan, çeşitli çap ve tipte karot numune alıcılarıdır. İçleri boş, tüp şeklindedirler. Uçlarındaki dişleriyle dönme ve baskı kuvveti sayesinde malzemeleri keserek, karotların, içlerindeki boşlukta yukarıya doğru yükselmesini sağlarlar. Dolayısıyla karot, karotiyerin içine alınır. Genellikle soğuk çekme çelikten imal edilirler. Kesici uçları ise elmas gibi sert maddelerle kaplıdır.



Şekil 1. Farklı boyutta karot örnekleri

Karotlar, alındıkları kaya kütlelerine dair çizgisel örnek temsil ederler. Kaya mekaniği laboratuvar deneyleri yaygın olarak karot numuneler üzerinde gerçekleştirilir. Özellikle kayaçların dayanım ve deformasyon gibi mekanik özelliklerinin belirlenmesinde karot numuneler sık kullanılmaktadır.

**Karot Alma:** Karotiyer, dişli bağlantısıyla makineye bağlıdır. Makine çalıştırılmadan önce karotiyere bağlı hortumla su verilmekte ve daha sonra kesime başlanmaktadır. Su, karotiyerin

**Ders Koordinatörü: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ**

**Deney Sorumlusu: Arş. Gör. Dr. Serkan İNAL**

**TRABZON- 2023**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**  
**MDM3011 - MADEN ve TÜNEL KAZILARINDA MEKANİZASYON**

ucundaki elmas gibi aşındırıcı maddelerin aşırı ısınmasını önleyerek ömrünü uzatır, toz oluşumunu engeller, ayrıca karot makinesinin dişli takımı ve motorunun zorlanmasını önler.

Suyun bir diğer görevi de kesilen malzemenin dışarı atılmasıdır. Kayaç yerleştirilip sabitlendikten ve su verildikten sonra makine çalıştırılır ve karotiyer olduğu yerde dönmeye başlar. Makine çalıştırıldıktan sonra kolun başına geçilerek çevrilip karotiyerin aşağıya inmesi sağlanır. Kesim bu şekilde manuel olarak yapılmaktadır.

**Karot Düzeltme ve Hazırlama:** Alınan karotlar tam düzgün geometriye sahip değildir. Öncelikle iki uçları düzgün olmadığı için başları uygun yerlerden kesilerek düzeltilmesi gerekmektedir. Baş kesiminden sonra, yapılacak deneye uygun standartlarda uzunluklar ölçülüp işaretlenerek karotlar, testere ile kesilir. Kesim işlemlerinden sonra karot numunelerin alt ve üst yüzeylerinin düzgünlüğü ve numune eksenine dikliklerini ayrıca yan yüzeylerinin pürüzsüz ve düzgünlüğünü sağlamak için zımpara ve aşındırıcı disk kullanılabilir.



Şekil 2. Karot alma ve kesme cihazları

**Ders Koordinatörü: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ**

**Deney Sorumlusu: Arş. Gör. Dr. Serkan İNAL**

**TRABZON- 2023**

## 2. SCHMIDT ÇEKİCİ İLE KAYA SERTLİK TAYİNİ DENEYİ

Bu deney, Schmidt çekici kullanılarak, kayaların Schmidt geri sıçrama (Schmidt sertliği) değerinin tayini ve dolaylı olarak tek eksenli sıkışma dayanımlarının saptanması amacıyla yapılır. Schmidt çekiçleri darbe enerjilerine göre sınıflandırıldığında 2'ye ayrılmaktadır. Bunlar; L ve N tipi çekiçlerdir. L tipi çekiçlerin darbe enerjisi 0,735 Nm'dir ve N tipi Schmidt çekicinin darbe enerjisi 2,207 Nm'dir. Kullanım modellerine göre Schmidt çekiçleri 3'e ayrılmaktadır. Bunlar basit Schmidt çekiçleri, kâğıt kayıtlı Schmidt çekiçleri ve dijital Schmidt çekiçleridir.



Şekil 3. Klasik bir Schmidt çekici

Schmidt çekici ile deney yapılırken dikkat edilmesi gereken bir diğer husus ise deney yapılmadan önce çekicinin kalibrasyon örsü kullanılarak kalibre olup olmadığının kontrol edilmesidir. Schmidt çekici deneyi hem arazide hem de laboratuvarında yapılabilir. Laboratuvarında sertlik ölçümleri genellikle karot numuneleri üzerinde gerçekleştirilmektedir. Bu deneyler gerçekleştirilirken ayrıca numune beşiklerine ihtiyaç duyulmaktadır. Bu numune beşikleri U tipi ve V tipi olmak üzere iki tanedir. Schmidt çekici deneyleri genellikle iki farklı standartta göre gerçekleştirilmektedir. Bu standartlar ISRM (1981) ve ASTM (2013)'tür. Schmidt çekici ile numuneler üzerine ilgili standartla göre 10 veya 20 farklı noktaya uygulama yapıp ortalamalar alınarak Schmidt geri sıçrama değeri bulunur ve literatürde çeşitli formül ve grafikler kullanılarak numunenin tek eksenli basma dayanımı tahmin edilir.

**Ders Koordinatörü: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ**

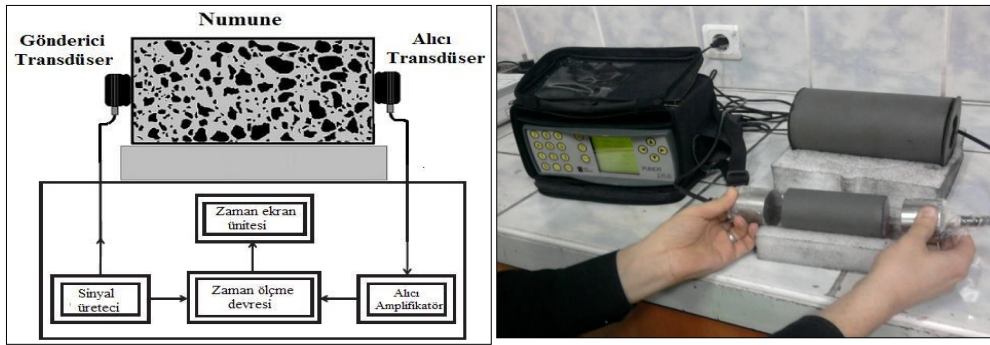
**Deney Sorumlusu: Arş. Gör. Dr. Serkan İNAL**

**TRABZON- 2023**

### 3. ULTRASONİK DALGA HIZI DENEYİ

**Amaç:** Kaya malzemelerinin boşluk, çatlak vb. kusurlarının, malzeme içerisinden ultrasonik dalgalar geçirmek suretiyle hasarsız bir şekilde belirlenmesidir.

Deneyde kullanılacak olan karot numunelerinin alt ve üst yüzeyleri birbirine paralel ve pürüzsüz olmalı, herhangi bir çatlak kırık vb. kusur içermemelidir. Sinyal alıcı ve gönderici jeofonlar numune ile tam temas etmeli ve deney sırasında hareket ettirilmemelidir. Örneklerin boy (L) değerleri 0,1 mm hassaslığa sahip kumpas yardımıyla ölçülerek kaydedilir.



Şekil 4. Ultrasonik P- dalga hızı test işlemi

#### Hesaplamalar:

Ultrasonik test cihazı ile kaya numunesinin içerisine gönderilen ultrasonik dalgaların numunenin bir yüzeyinden diğer yüzeyine geçme süresi ölçülüp P- dalga hızı aşağıdaki eşitlikten yararlanılarak hesaplanmaktadır;

$$V_p = (S / t) \quad (\text{m/s})$$

Burada,

$V_p$ : Ses üstü dalga hızı (m/s),

S: Numunenin uzunluğu (boyu) (mm),

t: Ultrasonik dalganın bir yüzeyden diğerine ulaşana kadar geçen zaman ( $\mu\text{s}$ ).

**Ders Koordinatörü: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ**

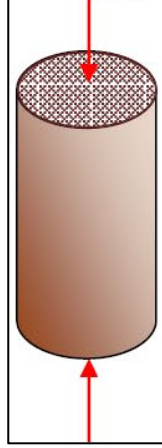
**Deney Sorumlusu: Arş. Gör. Dr. Serkan İNAL**

**TRABZON- 2023**

#### 4. TEK EKSENLİ SIKIŞMA (BASMA) DAYANIMI DENEYİ

**Amaç:** Kaya malzemelerinin üzerlerine uygulanan belirli bir basınç altında kırılmadan önce ne kadar yüke dayandığını belirlemektir.

Kaya malzemelerinin dayanımının belirlenmesinde kullanılan en yaygın metot tek eksenli basınç dayanımı testidir. Tek eksenli basınç dayanımı “ $\sigma_c$ ” ile gösterilir. Uygulanan yük doğrultusunda numune sıkıştırıldığından veya yükün basınç olması nedeniyle ve ayrıca sadece düşey yük uygulandığından dolayı deney bu adı almaktadır. Kaya numunesinin basınç dayanımı testi yapılarak o numunenin kohezyon ( $c$ ) ve içsel sürtünme açısı ( $\phi$ ) gibi parametreleri yaklaşık olarak bulunabilir.



Şekil 5. Tek eksenli sıkışmada kaya malzemesine uygulanan yük

ISRM standardında tek eksenli basınç dayanımı deneyi genellikle boy/çap (L/D) oranı: 2,5-3.0 olan NX (54,7 mm) ya da daha büyük çaplı silindirik karot numuneleri ile yapılmaktadır. Numune sayısı en az 5 adet olmalıdır.

**Deneyin Yapılışı:** Örneklerin boy (L) ve çap (D) değerleri kumpas yardımıyla ölçülerek kaydedilir. Numune, hidrolik pres tablaları arasına yerleştirilir. Yükün numune üzerine homojen şekilde yayılmasını sağlamak amacıyla numune alt ve üst kısmına numune ile aynı çapta olan çelik diskler konulur. Hidrolik preslerde numunenin üzerine konulduğu alt tabla

**Ders Koordinatörü: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ**

**Deney Sorumlusu: Arş. Gör. Dr. Serkan İNAL**

**TRABZON- 2023**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**  
**MDM3011 - MADEN ve TÜNEL KAZILARINDA MEKANİZASYON**

yukarı doğru hareket eder. Prese bağlı bilgisayar aracılığıyla numune üzerine düşey yük uygulanır. Yük, saniyede 0,5 – 1 MPa gerilme oluşturacak şekilde sürekli ve sabit bir hızla uygulanır. Numune yenildiği anda bilgisayardan yenilme yükü ( $F_c$ ) okunarak kaydedilir. Deney en az 5 adet numune üzerinde gerçekleştirilir ve her bir numunenin dayanım değerleri hesaplanarak bunların ortalaması alınarak, kayacın Tek Eksenli Basma Dayanımı hesaplanır.



Şekil 6. Tek eksenli basınç dayanımı testi

**Hesaplamalar:**

Basınç dayanımı,  $\sigma_c = F_c / A$  ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

A: Numune alanı,  $A = \pi D^2 / 4$  ( $\text{cm}^2$ ) formülleri ile hesaplanmaktadır.

$F_c$ : Kırılma yükü, (kg)

D: Numune çapı, (cm)

**NOT: 1 MPa = 10,1972 kg/cm<sup>2</sup>**

**1kN = 101,9716 kg**

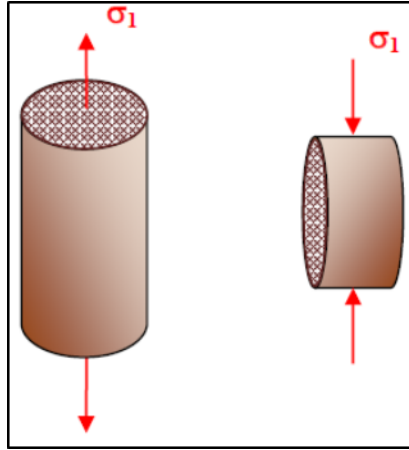
**Ders Koordinatörü: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ**

**Deney Sorumlusu: Arş. Gör. Dr. Serkan İNAL**

**TRABZON- 2023**

## 5. ENDİREKT (DOLAYLI) ÇEKME DAYANIMI (BRAZILIAN) DENEYİ

Her iki ucundan çekilen bir numunenin yenildiği andaki gerilme değerine “Çekme Dayanımı” denir ( $\sigma_t$ ). Kayaçların çekme dayanımını belirlemek için uygulamada “Direkt Çekme” ve “Endirekt Çekme (Brazilian)” olarak tanımlanan iki deney yöntemi bulunmaktadır. “Direkt Çekme Deneyi”nin uygulanmasındaki bazı zorluklardan dolayı daha çok “Endirekt Çekme Deneyi” tercih edilmektedir.



Şekil 7. Direkt (solda) ve Endirekt Çekme (sağda)

**ISRM (1981)** standartında yapılan bu deneyin amacı, kayaçların tek eksenli çekme dayanımlarının dolaylı yoldan belirlenmesidir. Deney için 10 adet yuvarlak disk şeklinde numune önerilmektedir. Numune kalınlıkları yaklaşık olarak kendi yarıçaplarına eşit olmalıdır ( $L/D = 1/2$ ). Numune çapları en az 54,7 mm (NX) olmalıdır. Numune yüzeyleri birbirine paralel ve düşey eksene dik olmalıdır. Numune alt ve üst yüzeyleri 0.25 mm içinde düzgün olmalıdır. Deney için, disk şeklindeki numunenin çap olarak zıt (yanal) yüzeylerine bir yay boyunca, kırılma anında yaklaşık olarak  $10^\circ$  açıyla temas sağlayacak şekilde tasarlanmış, çapı numune çapının 1,5 katı olan **2 adet çelik çene** kullanılır.

Standartlara uygun olarak hazırlanan 10 adet numunenin, kumpas yardımıyla çap (**D**) ve kalınlıkları (**L**) ölçülerek kaydedilir. Numune, çelik çeneli aygıt içerisine, her ikisinin dönme eksenleri çakışacak şekilde yerleştirilir. Bu durumda yük, numunenin alt ve üst

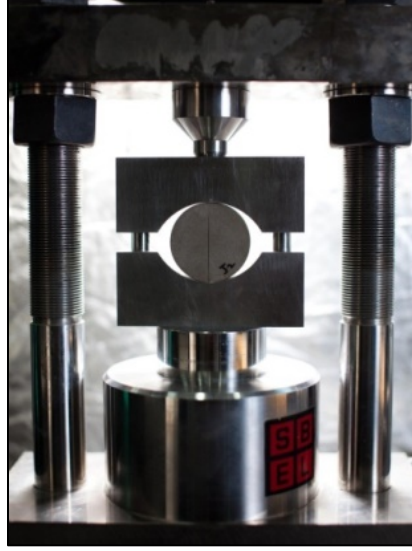
**Ders Koordinatörü: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ**

**Deney Sorumlusu: Arş. Gör. Dr. Serkan İNAL**

**TRABZON- 2023**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**  
**MDM3011 - MADEN ve TÜNEL KAZILARINDA MEKANİZASYON**

yüzeylerine dik olarak ve çapı boyunca uygulanabilecektir. Numune üzerine düşey yük devamlı ve sabit bir yükleme hızıyla uygulanır. Yükleme hızının 0,2 kN / saniye (20,4 kg/saniye) olarak, zayıf kayaları 15 – 30 saniyede kırarak şekilde uygulanması önerilmektedir. Numune kırıldığı andaki yük değeri okunarak kaydedilir ( $F_c$ ).



Şekil 8. Endirekt çekme deneyi düzeneği

**Hesaplamalar:**

Kayacın çekme dayanımı aşağıdaki eşitlikle hesaplanır:

$$\sigma_t = 2.F_c / \pi.D.L$$

$\sigma_t$ : Numunenin çekme dayanımı;  $kg/cm^2$

$F_c$ : Yenilme anındaki yük;  $kg$

$D$ : Numunenin çapı;  $cm$

$L$ : Numunenin kalınlığı;  $cm$

**NOT: 1 MPa = 10,1972 kg/cm<sup>2</sup>**

**1kN = 101,9716 kg**

**Ders Koordinatörü: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ**

**Deney Sorumlusu: Arş. Gör. Dr. Serkan İNAL**

**TRABZON- 2023**



## 6. BÖHME AŞINMA DENEYİ

Aşınma, bir yüzeyden parçaların kopması veya ayrılması sonucu malzeme kaybının oluşması olarak tanımlanır. Beton yol, hava meydanı, merdiven basamakları, döşemeler gibi yerlerde kullanılan malzeme aşınmaya dayanıklı olmalıdır. Bu malzemelerin aşınmaya karşı olan dirençlerinin belirlenmesi gerekir. Bu direncin belirlenmesi için uygulanan deneylerden biri de Böhme aşınma deneyidir. Böhme aşındırıcı diski, esas olarak belirlenen bir izde aşındırıcıyı alarak dönen bir disk, bir numune tutucu ve yükleme cihazından meydana gelir. Yük uygulandığı zaman diskin dönme hızı ( $30 \pm 1$ ) devir/dakika olmalıdır. Öncelikle numuneler hassas terazi ile tartılır. Daha sonra deney izine zımpara tozu konulur. Temas yüzü sürtünme şeridine (deney izi) gelecek şekilde numune tutucusuna yerleştirilen numune aksinel olarak ( $294 \pm 3$ ) N yük ile yüklenir. Numuneye, her biri 22 dönüşten meydana gelen 16 çevrim uygulanır. Daha sonra numunenin üzerindeki tozlar iyice temizlendikten sonra numunenin boyutları 0.01 mm hassasiyetle olan kumpas ile ölçülür ve numune hassas terazide tartılır.



Şekil 9. Böhme aşındırma diski

**Ders Koordinatörü: Prof. Dr. Ali Osman YILMAZ**

**Deney Sorumlusu: Arş. Gör. Dr. Serkan İNAL**

**TRABZON- 2023**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**  
**MDM3011 - MADEN ve TÜNEL KAZILARINDA MEKANİZASYON**

**Hesaplamalar:**

$$\Delta V = \Delta m / P$$

$\Delta V$  = Toplam hacim kaybı (cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup>)

$\Delta m$  = Toplam ağırlık kaybı (gr /50 cm<sup>2</sup>)

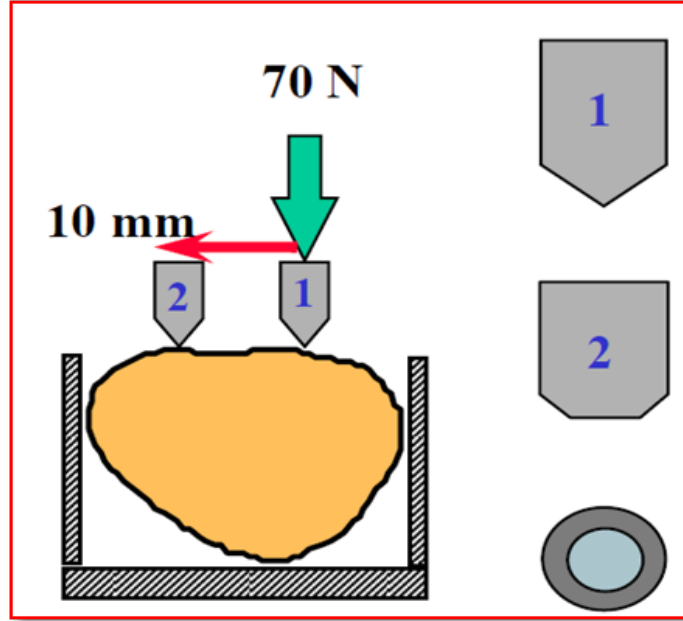
P = Numune yoğunluğu (gr/cm<sup>3</sup>)

bulunan sonuçlar 0.01 cm<sup>3</sup>/50 cm<sup>2</sup> ye yuvarlatılarak belirtilir (TSE 699).

## 7. CERCHAR AŞINDIRICILIK İNDEKSİ

**Amaç:** Belirlenen kayacın Cerchar aşındırıcılık değerinin bulunması, kayacın Cerchar aşındırıcılık değeri ile sınıflandırılması, kayacın kazısında ortaya çıkacak olan keski tüketiminin hesaplanması.

Cerchar aşındırıcılık indeksi, kayaçların aşındırıcılığının sınıflandırılması, keski aşınması, keski değişim maliyeti ve kayaç dayanımı gibi önemli parametrelerin doğru tahmin edilmesinden yaygın kullanılan bir deney yöntemidir. Deney taze kırılmış veya kesilmiş kayaç numuneleri üzerine uygulanır. Genellikle Brazilian çekme deneyinde kırılan numunelerin ara yüzeyleri bu deneyde kullanılmaktadır. Deney;  $160 \text{ kg/mm}^2$  çekme dayanımı olan  $90^\circ$  tepe açılı konik bir uç 7 kg bastırma kuvveti ile örnek üzerinde yaklaşık 1 saniye sürede 1 cm çekilmekle ve uçta oluşan aşındırma yüzeyi kayaç örneğinin aşındırıcılığını vermektedir (Şekil 10).



Şekil 10. Cerchar aşındırıcılık indeksi deney düzeneği

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**  
**MDM3011 - MADEN ve TÜNEL KAZILARINDA MEKANİZASYON**

Kayaç örnekleri üzerindeki çizme işlemi, her defasında yeni bir uçla farklı yönlerde 5 kez tekrarlanarak yapılmaktadır. Konik uçların uç kısımlarında oluşan aşınma yüzeyinin çapı ışık yansımali 25X büyütme mikrometre ölçekli bioküler mikroskop altında ölçülmektedir. 1/10 mm'lik aşınma yüzeyi bir birim Cerchar aşınma indeksi olarak kabul edilmiştir. Cerchar aşınma indeks değeri 5 çizimin aritmetik ortalaması alınarak bulunur. Kayaçların Cerchar aşındırıcılık indeksine kayaç sınıflandırılması Tablo 1'de verilmiştir.

Cerchar aşındırıcılık indeksi yardımı ile keski tüketiminin hesaplanması için genel olarak kabul edilen bağıntı şu şekildedir:

$$CCR (\text{cutter}/\text{m}^3) = 0.25 CAI$$

Tablo 1. Kayaçların CAI değerine göre sınıflandırılması

Sınıf	CAI
Aşındırıcı olmayan	0,3-0,5
Az aşındırıcı	0,5-1,0
Orta derecede aşındırıcı	1,0-2,0
Çok aşındırıcı	2,0-4,0
Aşırı aşındırıcı	4,0-6,0

**SORULAR**

1. Bir kayaç numunesine, klasik Schmidt çekiciyle yapılan sertlik deneyi sonucu kayacın Schmidt sertlik değerleri ortalaması (R), “**5x**” olarak bulunmuştur. Literatürde farklı araştırmacıların önerdiği formüllerden 3 tanesini kullanarak kayacın Tek Eksenli Basma Dayanımını ( $\sigma_c$ ) bulunuz. **(15p)**
2. Uzunluğu (L), 145 mm olan bir kayaç karot numunesine yapılan Ultrasonik Dalga Hızı deneyinde ultrasonik dalganın bir yüzeyden diğerine kadar geçen zaman (t), “**3x**”  $\mu s$  olarak bulunmuştur. P dalga hızını ( $V_p$ ), m/s olarak bulunuz. **(15p)**
3. Çapı (D), 54 mm olan bir kayaç karot numunesine yapılan Tek Eksenli Sıkışma Dayanımı deneyinde, numunenin kırılma yükü ( $F_c$ ), “**13x**” kN olarak bulunmuştur. Numunenin tek eksenli sıkışma dayanımını ( $\sigma_c$ ) kg/cm<sup>2</sup> ve MPa olarak hesaplayınız. **(15p)**
4. Çapı (D), 54 mm ve kalınlığı (L), 27 mm olan bir kayaç disk numunesine yapılan Endirekt Çekme Dayanımı deneyinde, numunenin kırılma yükü ( $F_c$ ), “**1x**” kN olarak bulunmuştur. Numunenin çekme dayanımını ( $\sigma_t$ ) kg/cm<sup>2</sup> ve MPa olarak hesaplayınız. **(15p)**
5. Yoğunluğu 2,70 g/cm<sup>3</sup> olan bir kayaçtan alınan numune Böhme Aşınma deneyine tabi tutulmuş, ilk ağırlığı 940 gr olarak tartılmış, deney sonrası ağırlığı “**91x**” gr olmuştur. Numunenin toplam hacim kaybını ( $\Delta V$ ) bulunuz. **(15p)**
6. Bir kayaç numunesine yapılan Cerchar Aşındırıcılık İndeksi deneyi sonucu ortalama CAI değeri “**1,x**” olarak bulunmuştur. Kayacın aşındırıcılık sınıfını belirtiniz ve keski tüketim hızını (CCR) hesaplayınız. **(15p)**

**KARADENİZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ**  
**MADEN MÜHENDİSLİĞİ BÖLÜMÜ**  
**MDM3011 - MADEN ve TÜNEL KAZILARINDA MEKANİZASYON**

**ÖNEMLİ NOT:** Sorularda “x” ile gösterilen yere her öğrenci kendi öğrenci numarasının son hanesini yazarak belirtilen değerleri kullanacaktır. Örneğin, öğrenci numarası 394745 olan öğrenci:

1. Soruda,  $R = 5\underline{5}$
  2. Soruda,  $t = 3\underline{5} \mu\text{s}$
  3. Soruda,  $F_c = 13\underline{5} \text{ kN}$
  4. Soruda,  $F_c = 1\underline{5} \text{ kN}$
  5. Soruda, deney sonrası ağırlık =  $91\underline{5} \text{ gr}$
  6. Soruda,  $CAI = 1,\underline{5}$
- Rapor genel düzeni 10 puan üzerinden değerlendirilecektir.