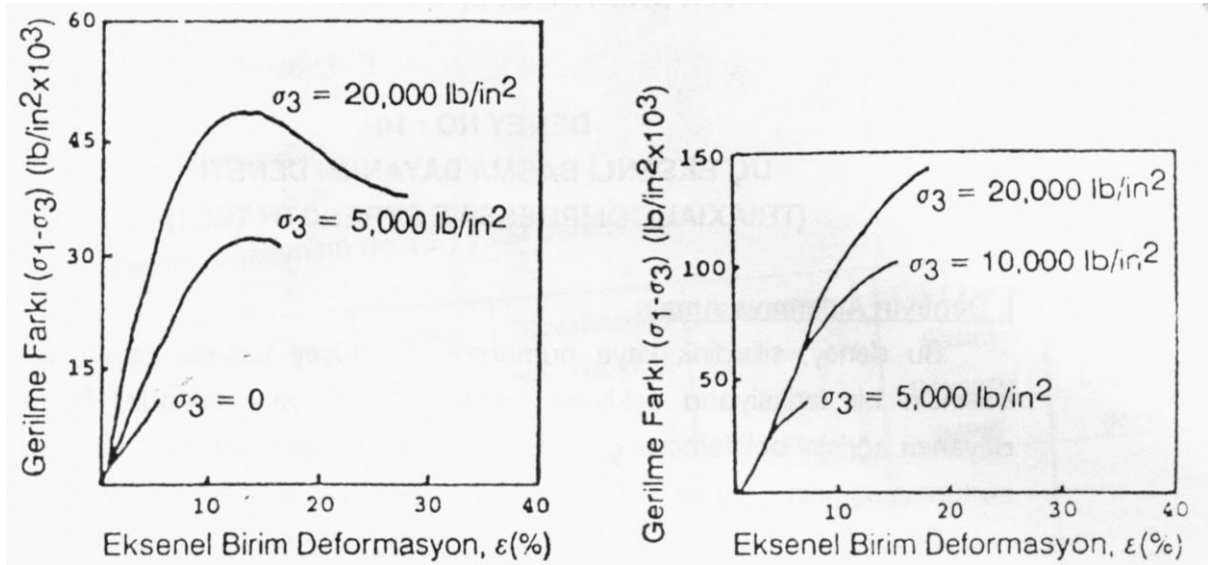


DENEY NO: 9
ÜÇ EKSENLİ BASMA DAYANIMI DENEYİ
(TRIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTH TEST)

1. AMAÇ:

Bu deney, üç eksenli sıkışmaya maruz kalan silindirik kayaç örneklerinin makaslama dayanımı parametrelerinin saptanması amacıyla yapılır. Deney verileri kullanılarak kayacın yenilme zarfı çizilir ve bu zarftan kayaç malzemesinin içsel sürtünme açısı (ϕ) ve kohezyon (c) parametreleri belirlenir. Bir numunenin üç eksenli basma dayanımı, ikinci ve üçüncü boyutlarda yan basınç sağlanırken kayacın yenildiği eksenel yenilme düzeyidir. Aynı kaya türünde, farklı yan basınçlarda farklı üç eksenli sıkışma dayanımı değerleri elde edilir. Yan basıncın artması aynı zamanda üç eksenli sıkışma dayanımını artırdığı gibi, son dayanımda da fazla birim deformasyonlarla sonuçlanır. Ayrıca yenilmeden önceki elastik birim deformasyonlar da yan basıncın artmasıyla artar. Zayıf kayaçlarda, gerilme birim deformasyon eğrisinden elde edilen başlangıç tanjant modülü, yan basıncın artırılmasıyla belirgin bir şekilde artar. Çok sağlam kayaçlarda, yanal basıncın artmasıyla dayanım artmasına rağmen, genellikle modülüs değerleri yan basıncın değişmesinden çok az etkilenir (**Şekil 1**).



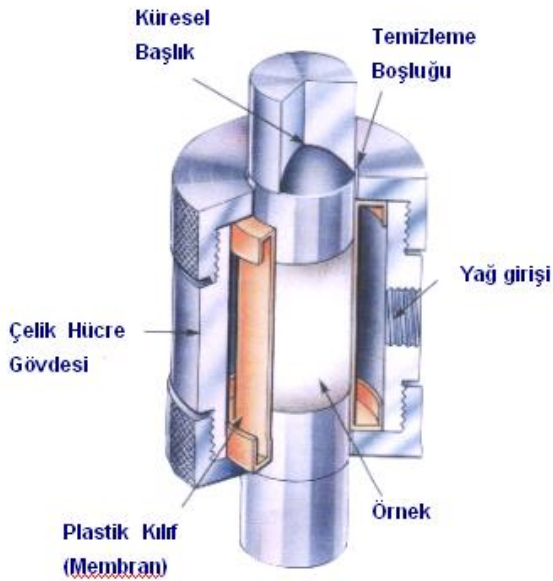
a. Berea Kumtaşı

b. Gabro

Şekil 1: Gerilme-birim deformasyon özelliklerinin değişimi

2. ARAÇ-GEREÇ:

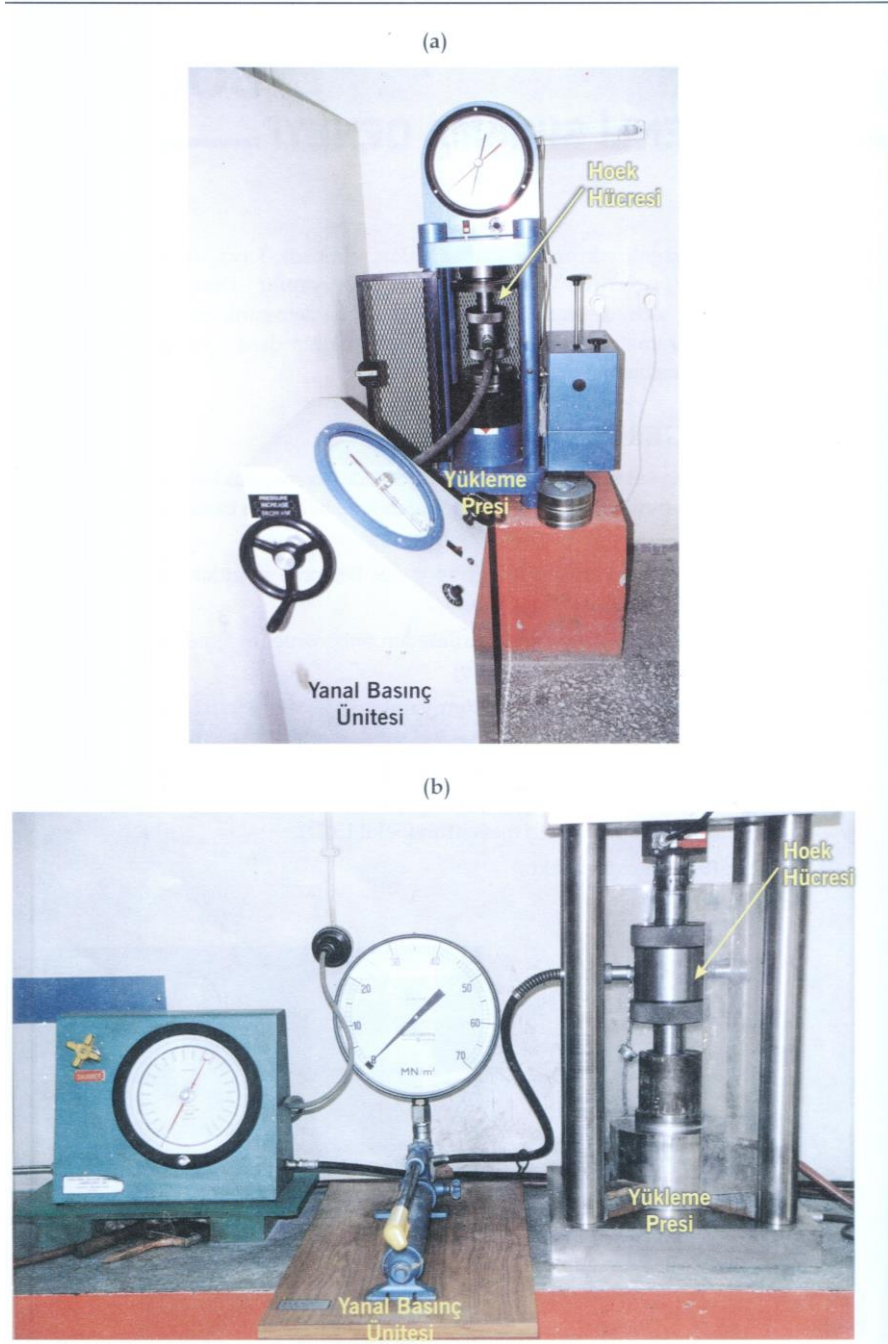
- a) Ayarlanabilen sabit bir hızla ve sürekli olarak eksenel yükleme sağlayabilecek yeterli kapasitede bir yükleme pres (tek eksenli basma dayanımı deney düzeneğindeki özelliklere ve küresel başlığa sahip).
- b) Silindirik örneğin yerleştirileceği ve yanal basıncın uygulanacağı üç eksenli deney hücresi (Hoek hücresi) (Şekil 2.a,b).
- c) Örnek üç eksenli hücreye yerleştirilmeden önce, örneğin içine konacağı geçirimsiz ve esnek kılıf (membran) (Şekil 2.a,b).
- d) Örneğin çapıyla aynı çapta, çelikten yapılmış ve özellikleri tek eksenli basma dayanımı deneyinde verilen küresel başlıklar (Şekil 2.a,b).
- e) Yanal basınç (hücre basıncı) ünitesi. Bu ünite, basınca dayanıklı bir hortumla üç eksenli hücreye bağlanır. Ünitenin pompadan ve göstergeden oluşan taşınabilir (Şekil 3.b ve Şekil 4) veya daha gelişmiş olan modelleri mevcuttur (Şekil 3.a ve Şekil 5).
- f) Kompas (0,1 mm duyarlılıkta).



(a)

(b)

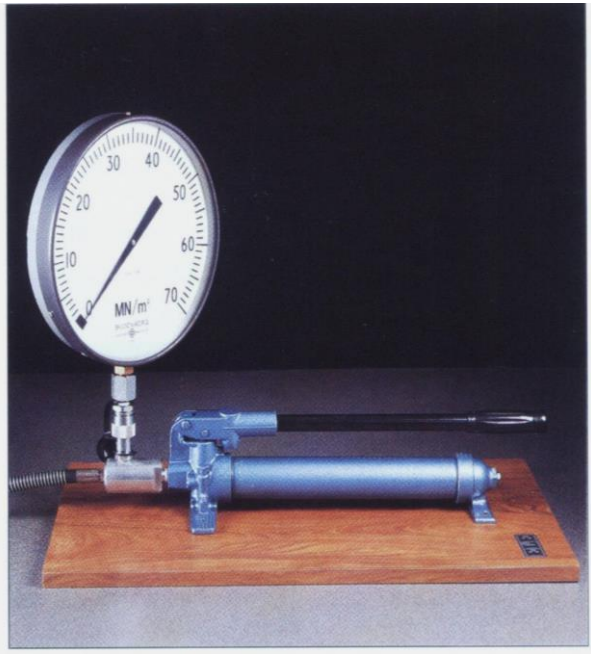
Şekil 2: (a) Üç eksenli deney hücresinin (Hoek Hücresi) şematik görünümü ve (b) çeşitli çaplardaki karotlar için Hoek hücreleri(1), kılıflar (2) ve küresel başlıklar (3).



Şekil 3. Üç eksenli basma dayanımı deney düzeneği ile pompa ve göstergeden oluşan, basınca dayanıklı bir hortumla üç eksenli hücreye bağlanmış taşınabilir yanıl basınç hücresi (b, a).



Şekil 4: Manuel yan basınç ünitesi



Şekil 5: Dijital göstergeli üç eksenli basınç makinesi

3. DENEY İÇİN GEREKLİ NUMUNELER:

Üç eksenli basma dayanımı deneyleri silindirik numuneler üzerinde yapılır.

a) Numune çapı tercihen en az NX (54 mm) veya daha büyük olmalıdır. Numunenin çapı kayacın tane yapısına bağlı olmalıdır ve bu kayadaki en iri tane boyutunun 10 katı değerinden küçük olmamalıdır.

b) Numunenin boy/çap oranı (L/D) 2.5-3.0 arasında olmalıdır.

c) Numunenin alt ve üst yüzeyleri en fazla 0,01mm'ye kadar bir hata ile düzgün olmalı ve numune eksenine diklik hassasiyeti 50 mm'de 0,05 mm sapmadan küçük olmalıdır.

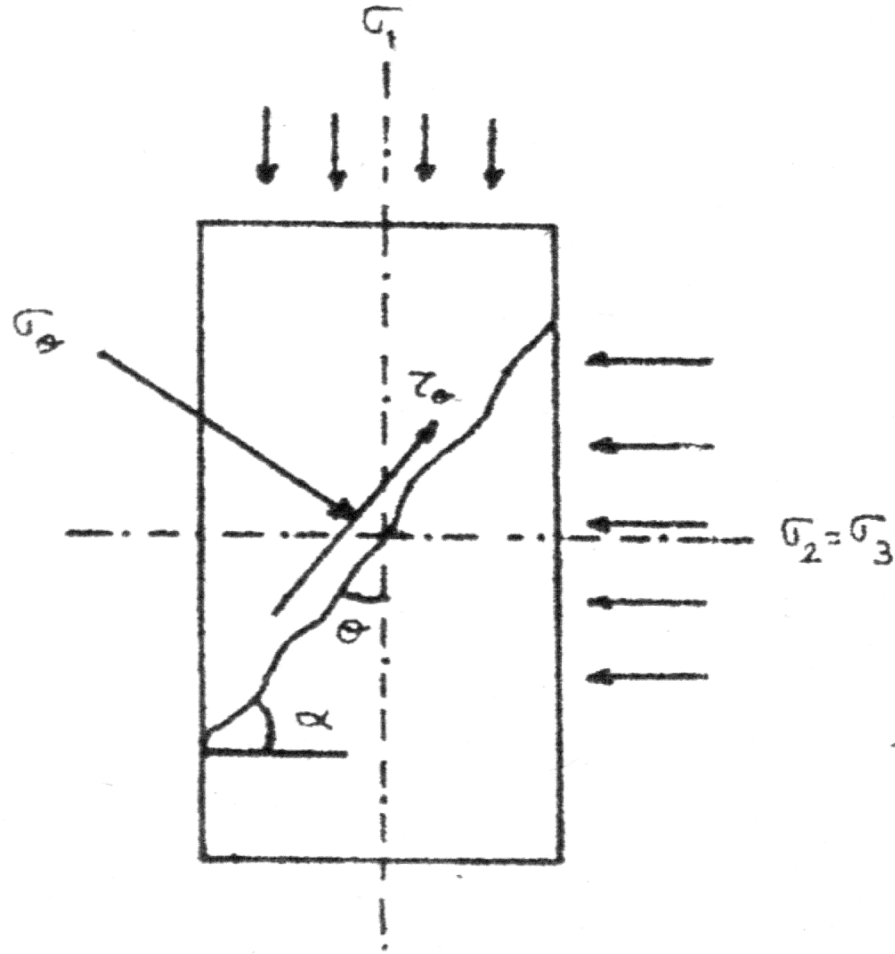
d) Numunenin yan yüzeyi pürüzsüz olmalı ve tüm kenar uzunluğu boyunca 0,3 mm limiti içinde doğrusal olmalıdır.

e) Numuneler doğal nemliliğini koruyacak şekilde saklanmalı ve bu süre 30 günden daha uzun olmamalıdır.

4. HESAPLAMALAR:

Numune üzerine (P) yan basıncında uygulanan maksimum aksenal (düşey) gerilme (üç eksenli basma dayanımı) (Şekil 6).

$$\sigma_1 = \frac{Fc}{A} \quad \text{ve} \quad \sigma_2 = \sigma_3 = P \quad (\text{Asal gerilmeler})$$



Şekil 6: Üç eksenli basma dayanımı deney numunesine uygulanan asal gerilmeler

Üç eksenli basma dayanımı deney verileri ile kohezyon ve içsel sürtünme açısı iki yöntem kullanılarak hesaplanabilir:

1. Dayanım Zarfı
2. Mohr Dairesi

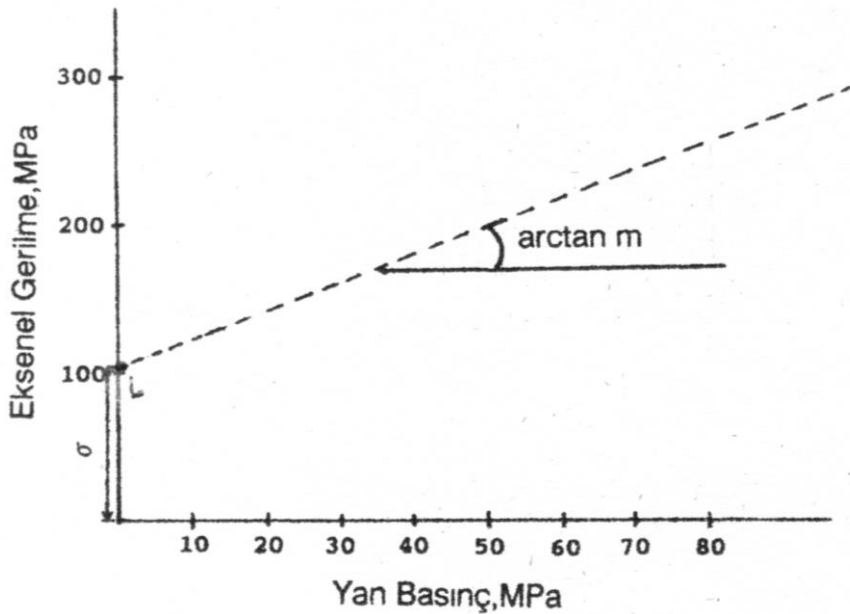
1. Dayanım Zarfı:

a. Farklı numuneler için grup yan basınç değerleri X ekseninde ve bunlara karşılık gelen ortalama dayanım değerleri Y ekseninde olmak üzere işaretlenir. Dayanım zarfı (doğru çizgi) bu noktalardan ortalama eğri geçirilerek elde edilir (**Şekil 7**).

b. Bu doğru, eğimi (m) ve “y” ekseninde kestiği değer (b ; tek eksenli basınç dayanımı) hesap edilerek karakterize edilebilir.

c. “ m ” ve “ b ” değerleri yardımıyla içsel sürtünme açısı ve kohezyon aşağıdaki formüller kullanılarak hesap edilebilir.

$$\phi = \arcsin \frac{m-1}{m+1} \quad c = b * \frac{1 - \sin \phi}{2 * \cos \phi}$$

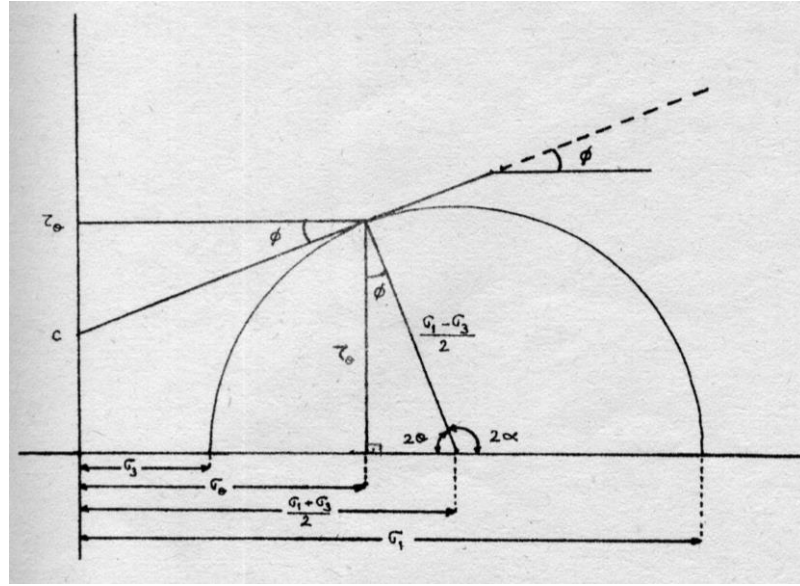


Şekil 7: Dayanım (mukavemet) zarfı

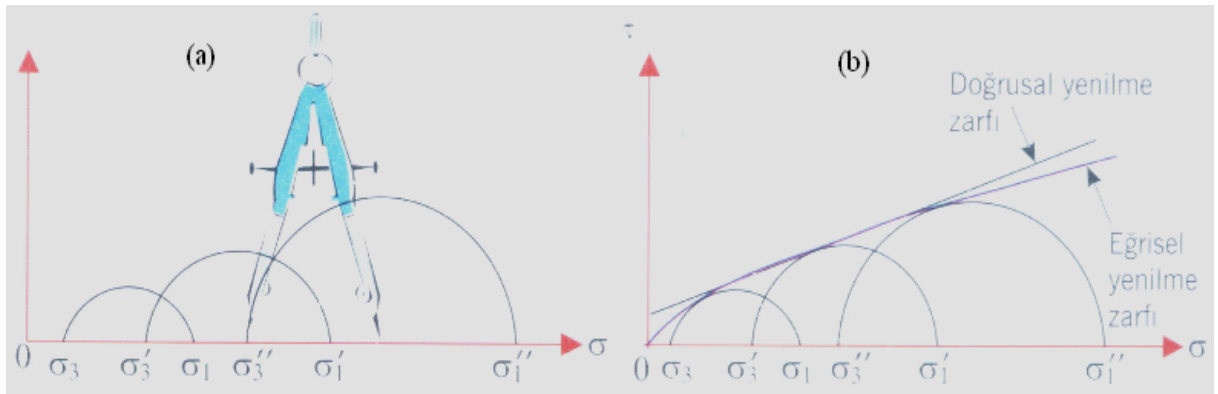
2. Mohr Dairesi:

a. Deney verileri kullanılarak grup numuneler için (aynı yan basınçtaki) τ - σ düzleminde Mohr daireleri çizilir (**Şekil 8 ve Şekil 9a**).

b. Bu dairelere ortak teğet çizilir (**Şekil 8 ve Şekil 9b**). Bu eğrinin dikey eksenini kestiği yer kayacın kohezyonunu verir. Zarf eğrisinin eğimi ise kayacın içsel sürtünme açısını verir.



Şekil 8. Mohr gösterimindeki açılar ve gerilmeler



Şekil 9. (a) Mohr dairelerinin çizimi, (b) doğrusal ve eğrisel mohr yenilme zarfları.

Ayrıca çok sayıda Mohr dairesinin elde edildiği ve incelenen kayacın için ortalama “c” ve “ ϕ ” değerlerinin belirlenmesinin istendiği durumlarda p-q grafikleri çizilir. Bu amaçla her Mohr dairesi için **Şekil 10**'da gösterildiği gibi;

$$p = (\sigma_1' + \sigma_3')/2 \quad \text{ve} \quad q = (\sigma_1' - \sigma_3')/2$$

değerleri belirlenir. Tüm örnekler için belirlenen p ve q değerleri **Şekil 11**'deki grafiğe işlendikten sonra, p-q noktalarının dağılımına doğrusal regresyon analizi uygulanarak ortalama deney sonuçlarını tanımlayan ortak yenilme zarfı elde edilir. Bu zarfın eğim açısı (α) ve

q eksenini kestiği noktadaki “a” değerleri kullanılarak etkin normal gerilim cinsinden c' ve ϕ' parametreleri aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır.

$$\phi' = \sin^{-1}(\tan \alpha)$$

$$c' = a / \cos \phi'$$

c. Bu dayanım eğrisi bir çok kayaç için doğrusal bir özellik verir ve aşağıdaki eşitliklerle ifade edilir.

$$\tau_{\theta} = \pm (c + \sigma_{\theta} \cdot \tan \phi)$$

$$\tan \phi = \cot 2\theta \text{ için,}$$

$$\tau_{\theta} = \pm (c + \sigma_{\theta} \cdot \cot 2\theta)$$

Burada :

σ_{θ} : Yenilme düzlemine etki eden normal gerilme

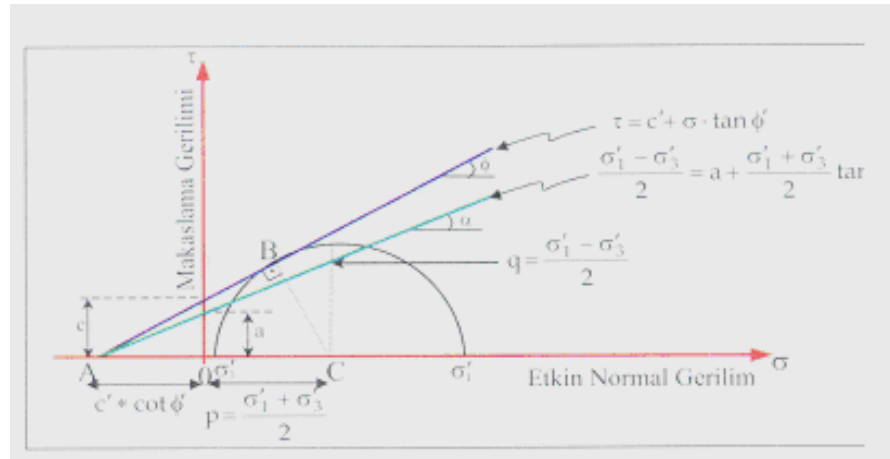
Burada: σ_{θ} : Yenilme düzlemine etki eden normal gerilme

c : Kohezyon

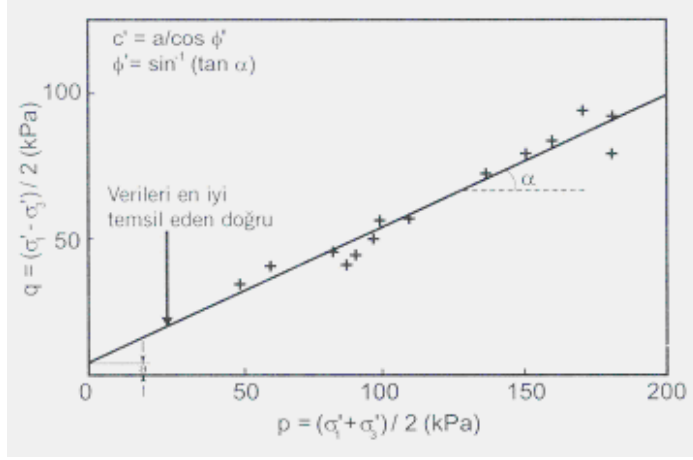
$\tan \phi$: Dayanım eğrisinin eğimi (içsel sürtünme açısı)

d. Doğrusal bir Mohr zarfı için basma dayanımı ile kohezyon arasındaki ilişki aşağıdaki gibi verilebilir:

$$\sigma_c = \frac{2 \cdot c \cdot \cos \phi}{1 - \sin \phi}$$



Şekil 10: p-q grafiğinin esasları



Şekil 11: Tipik bir p-q yenilme zarfı

5. DENEY SONUÇLARI:

Kaya numunesi:

Numune No (#)	Boy L (mm)	Çap D (mm)	Yan Basınç P (kg/cm ²)	Kırılma Yüğü Fc (kg)	Kırılma Düzlemi Açısı (θ) (Derece)	Üç Eksenli Basma Dayanımı (σ ₁) (kg/cm ²)
1						
2						
3						
4						
5						
6						