

KAYALARIN MÜHENDİSLİK ÖZELLİKLERİ

Kaya özellikleri doğası gereği araştırma, tasarım, yapım ve inşaat mühendisliği projelerinin yapım sonrası evrelerinin bir parçasıdır.

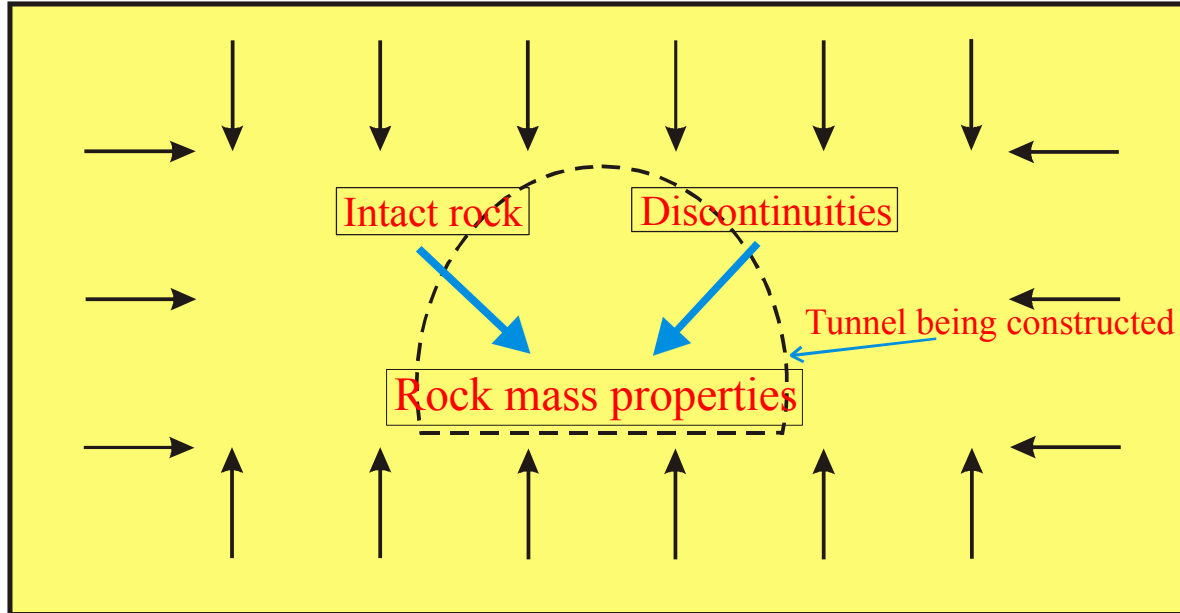
Kaya sınıflamaları çoğu mühendislik uygulamaları için kayanın adı ve jeolojik karakteristiklerini sağlar.

Buna ek olarak, kayaların mühendislik amaçlı kullanımları kayaları daha genel iki parçada ele almayı gerektirir.

KAYA MALZEMESİ/KAYA KÜTLESİ

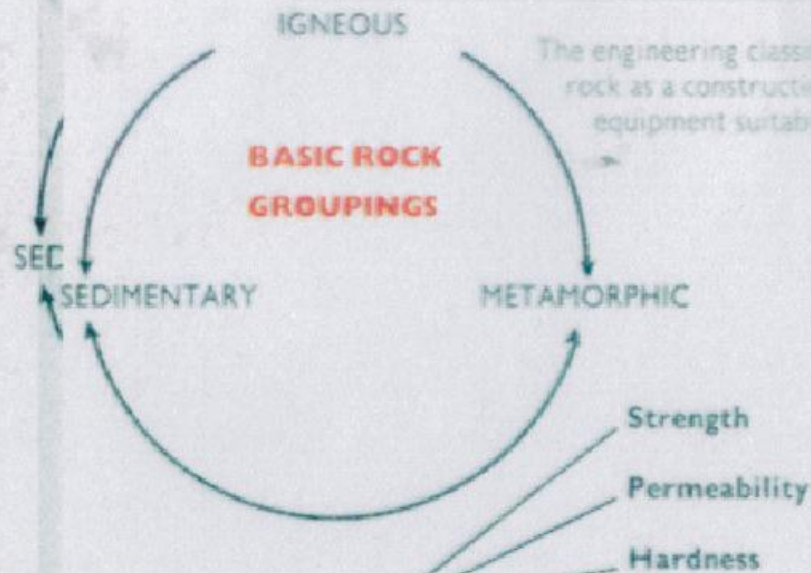
KAYA MALZEMESİ/SAĞLAM KAYA (Rock Material/Intact Rock): kaya eklem, tabakalanma gibi süreksizlikler içermez.

KAYA KÜTLESİ (Rock Mass): kaya malzemesi ile süreksizliklerin birlikte oluşturdukları kütle veya sistemdir.

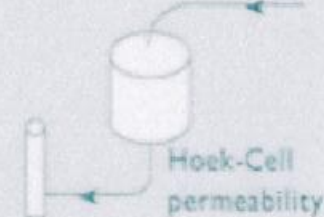


The Engineering Classification of Rock

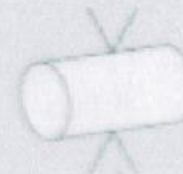
The engineering classification of rock is an important stage in the selection and subsequent use of rock as a construction material. The range of products available in this section provides test equipment suitable for determining the more important rock qualities.



Rock shear strength



Hoek-Cell permeability



Point-Load Test and Rock Hammer



Petrographic examination
Thin section preparation



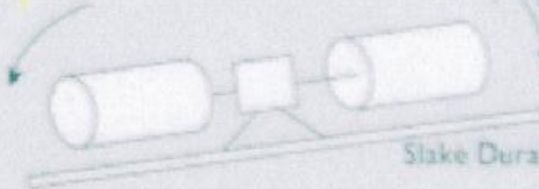
Sun



Wind



Rain



Slake Durability

1. 1. Properties

2. 2. Mineralogy

3. 3. Weathering (Durability)

Sağlam Kaya/Kaya Malzemesi

Kaya malzemesini tanımlayan özellikler:

- ✓ Kaya türü
- ✓ Renk
- ✓ Tane boyu
- ✓ Doku ve yapı
- ✓ Bozunma
- ✓ Sertlik
- ✓ Dayanıklılık
- ✓ Porozite
- ✓ Yoğunluk
- ✓ Dayanım
- ✓ Sonik Hız
- ✓ Young modülü
- ✓ Poisson oranı
- ✓ Birincil Geçirgenlik

Tüm bu özellikler kayanın mühendislik amaçlı kullanımları için dolaylı bir anlam ifade eder.

Jeolojik terminoloji aydınlatıcıdır ama mühendise ihtiyacı olan niteleyici veriyi sağlamaz.

KAYA DAYANIMI

Kayanın mühendislik kullanımında, süreksizliklerin varlığı, mühendislik karakterini genellikle kaya malzemesinin fiziksel özelliklerinden daha büyük ölçüde etkiler. Ancak, kaya malzemesi özelliklerinin mühendislik değerinin çok yüksek olduğu durumlar da vardır. Gerilim ve elastik özelliği son derece yüksek kayalarda yapılan açıklıklarda deformasyon miktarları ve oranlarının tahmini bunun tipik bir örneğidir.

Tünel açma makinelerinin (TBM) performansı bir anlamda kaya malzemesinin mineraloji, doku, tane boyu ve foliasyon gibi bazı faktörlerine bağlıdır.

Kaya malzemesinin dayanım ve elastisitesi, deformasyon ve yenilme karakteristikleri baraj ve basınçlı tünellerin tasarımı ve bir yapının tahmini performansında kullanılır. Ufalanma ve fiziksel bozunmayı önlemek için yüzeydeki taze kaya yapısını koruma ihtiyacı ve bunun için yeterli zaman ayrıca kaya malzemesi özelliklerinin işlevleridir.

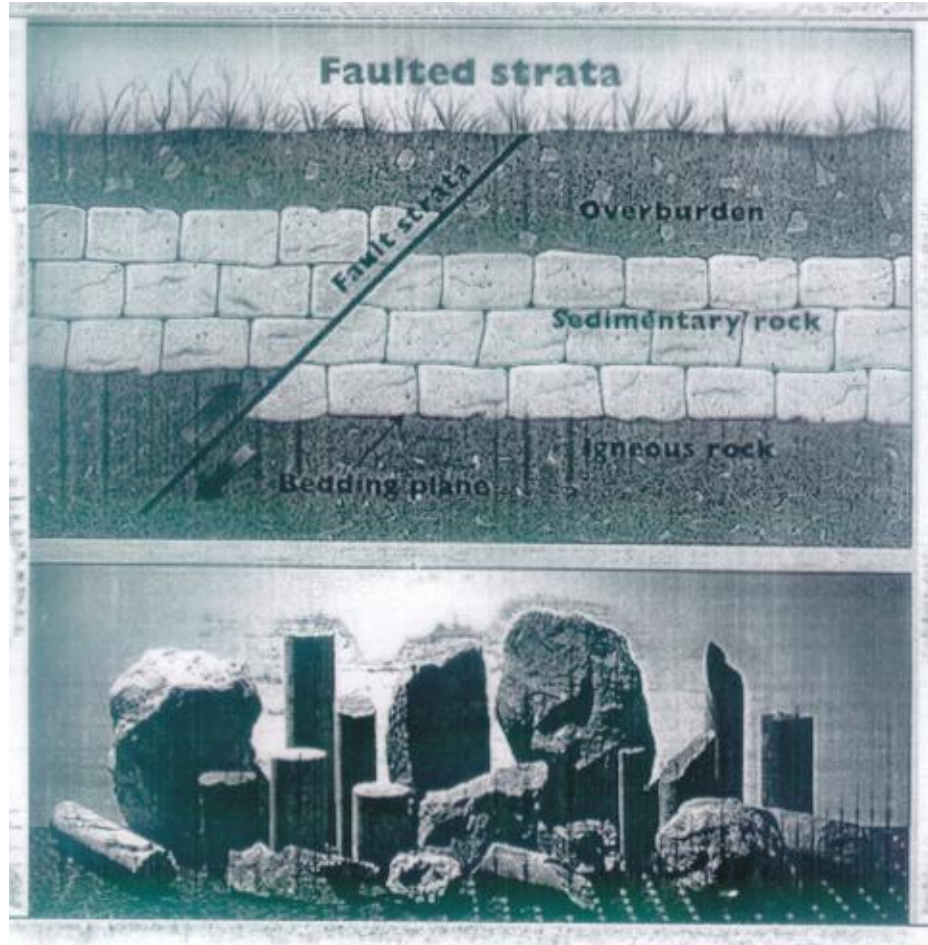
Kayanın yenildiği anda uygulanan gerilim miktarı bu kayanın dayanımını ifade eder.

Uygulanan gerilim:
Sıkışma (Compressive)
Makaslama (Shear)
Çekilme (Tensile)
Burulma (Torsion)

Bunların arasında mühendislik uygulamalarında, sıkışma dayanımı en sık kullanılandır.

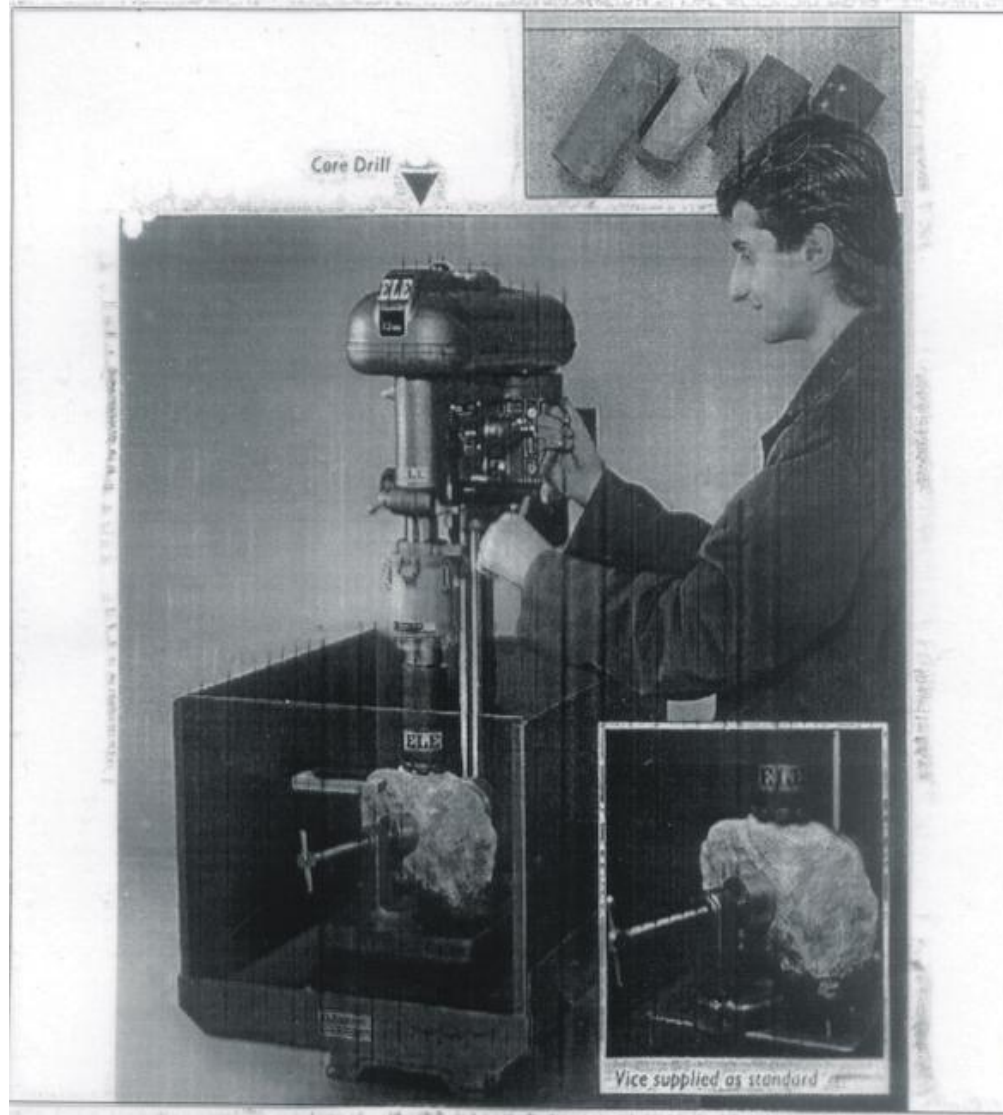
TEK EKSENLİ SIKIŞMA DAYANIMI

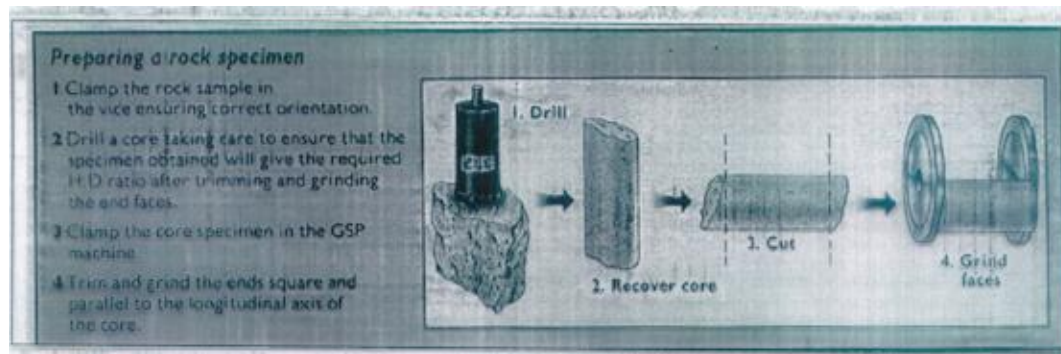
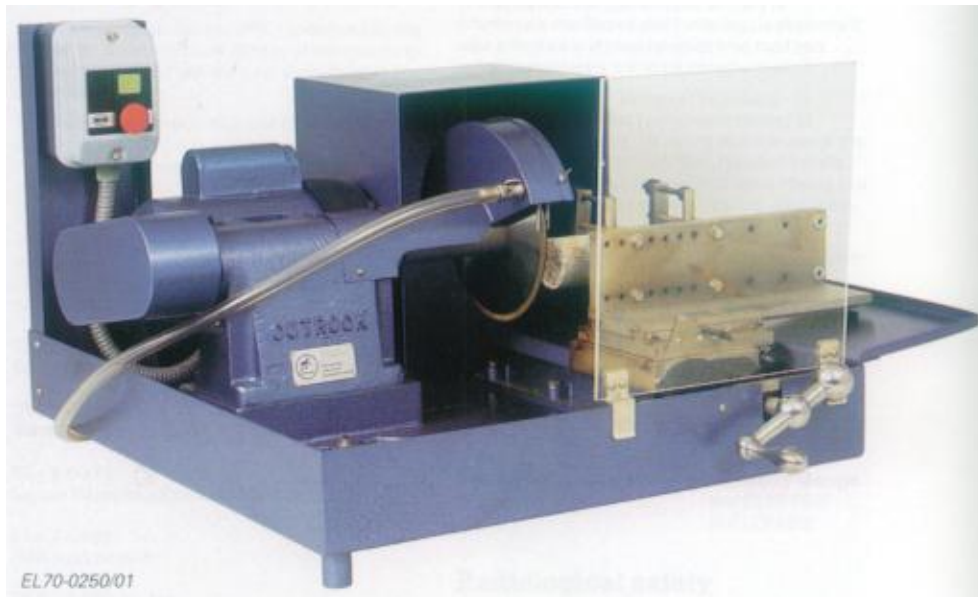
UCS (uniaxial compressive strength) için kaya örnekleri =====> silindirik karot örnek



KAROTLAR NASIL ELDE EDİLİR?

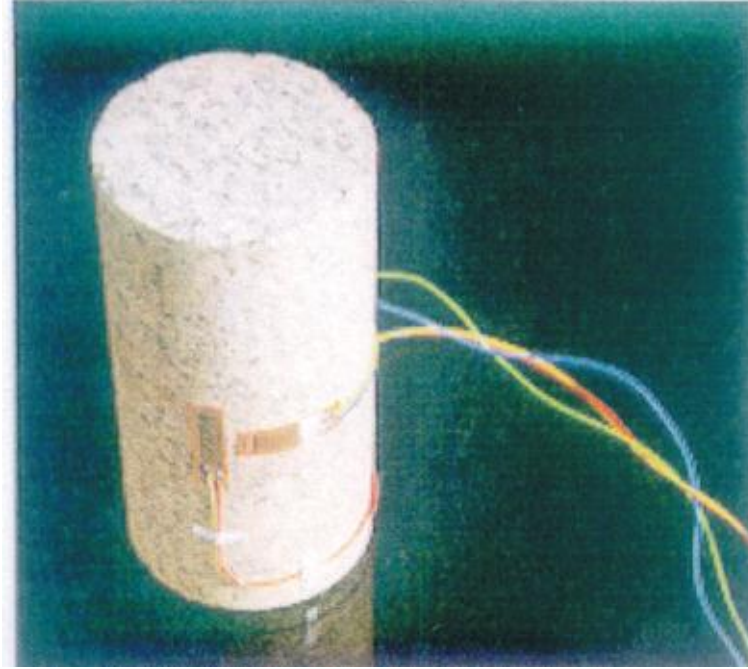
- Arazide sondaj yoluyla
- Laboratuvarda blok örneklerden

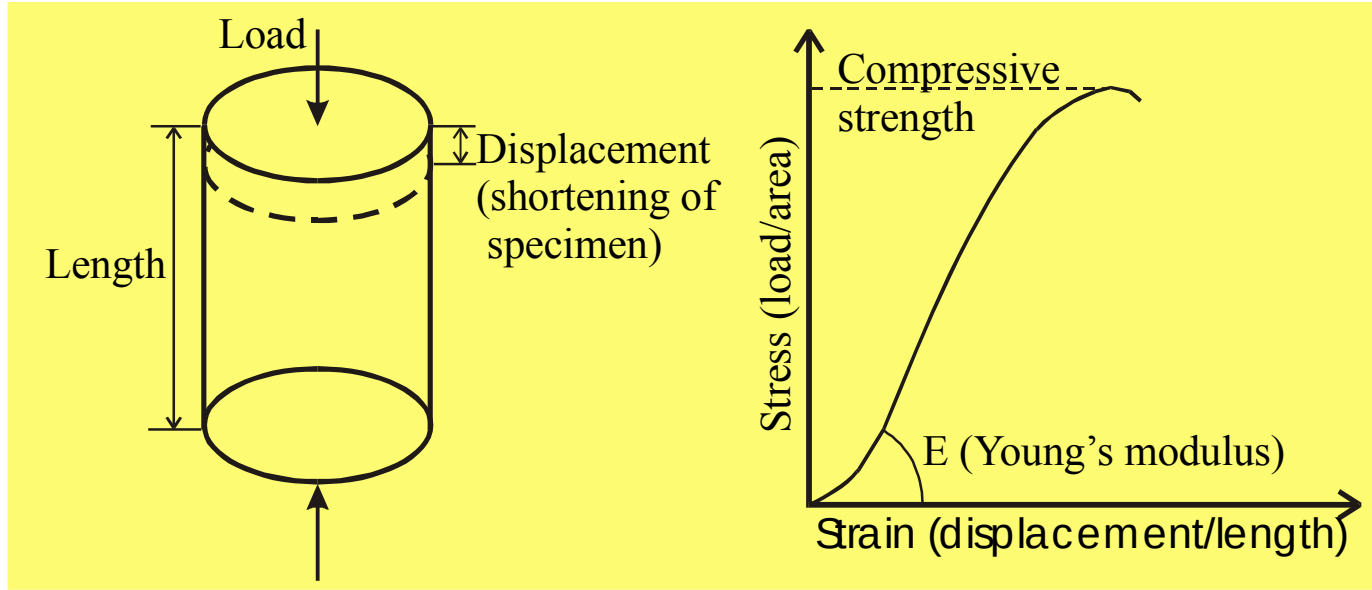




$$\text{UCS} = F / A \text{ (MPa)}$$

Tek ekseli sıkışma dayanımı için standart bir karot örneğin L/D oranı 2.5-3 olmalıdır.





Birim deformasyonu ölçmek için



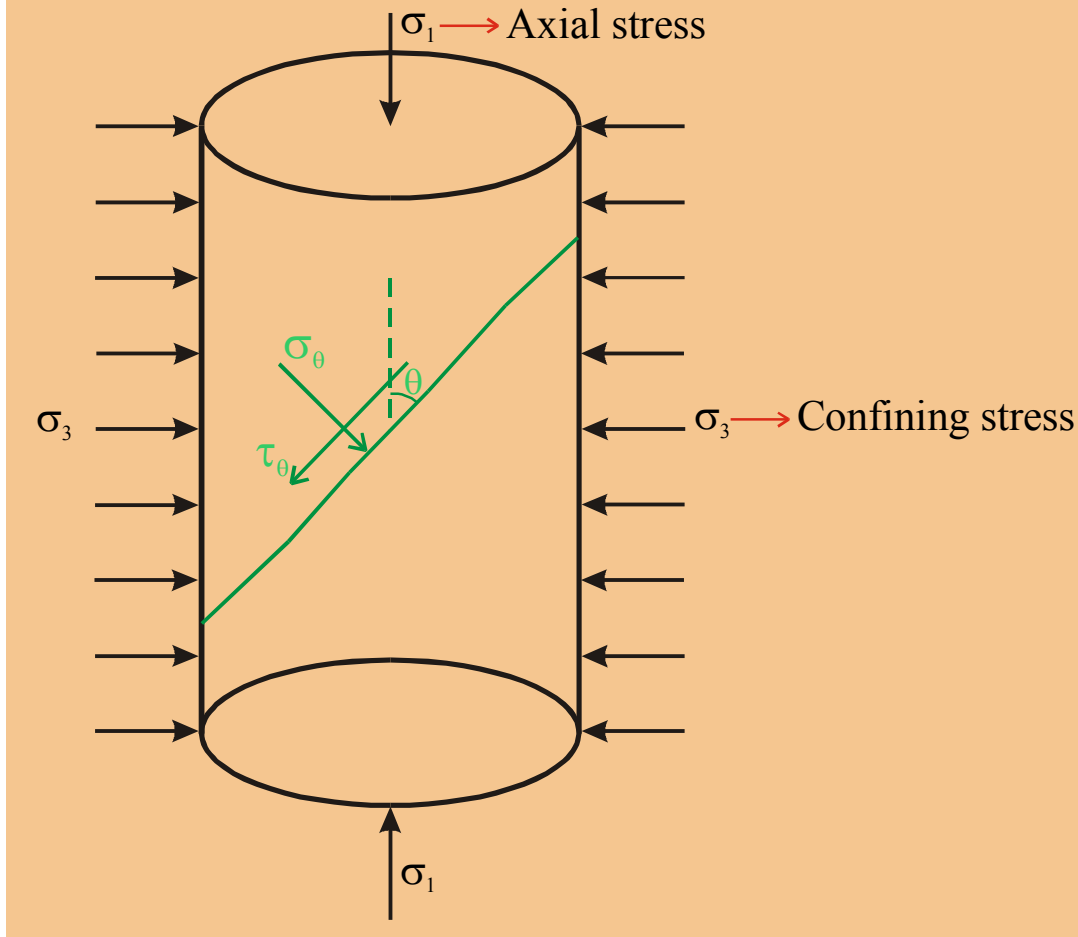
Deformasyon ölçerler (strain gauges)

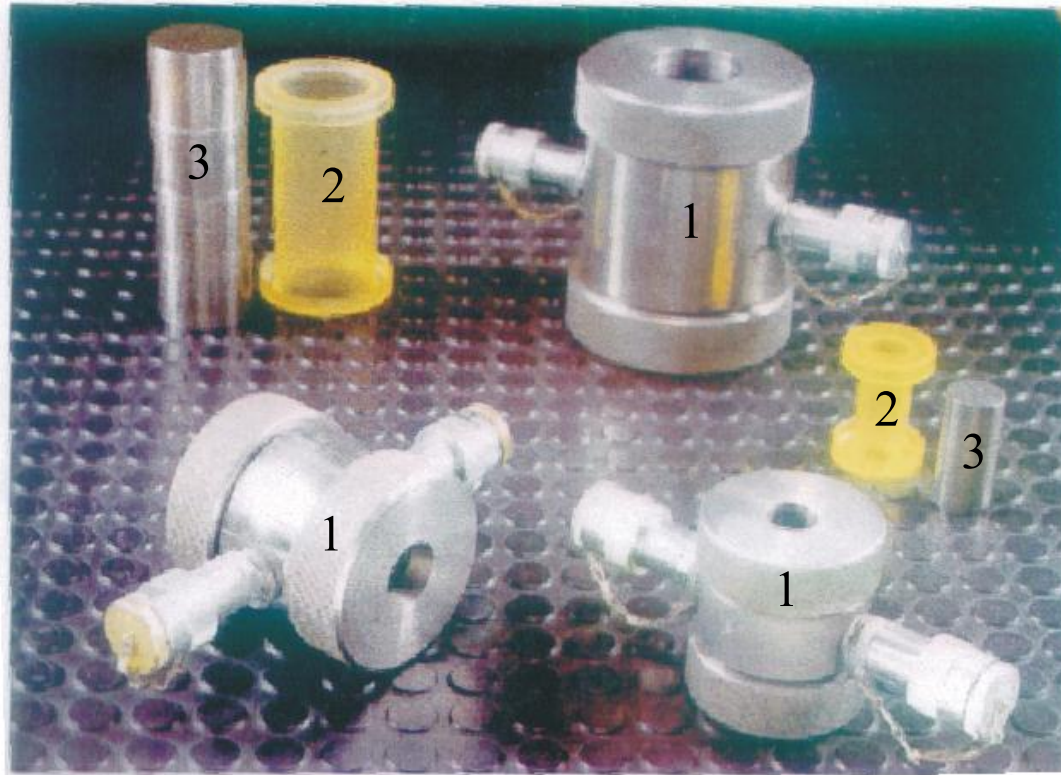
E & μ

Belirlenir.

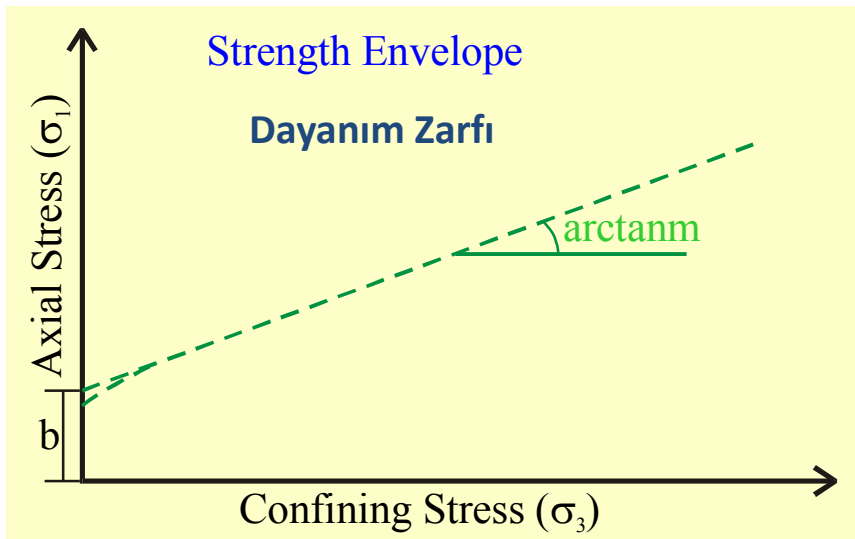
ÜÇ EKSENLİ SIKIŞMA & MAKASLAMA DAYANIMI

- Kullanım alanları:
- Temellerin taşıma kapasitesinde
 - Maden sütunlarının makaslama dayanımlarında
 - Yeraltı yapılarında





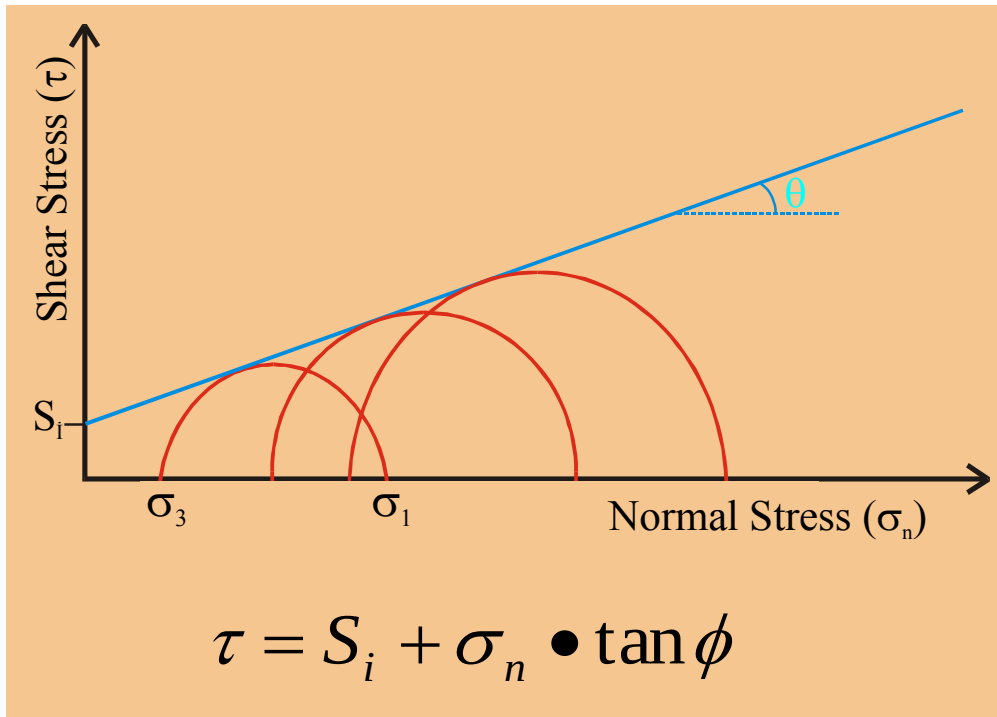
Üç eksenli deney hücreleri (Hoek hücreleri-1), kılıflar (2), ve küresel başlıklar (3).



$$\phi = \arcsin \frac{m-1}{m+1}$$

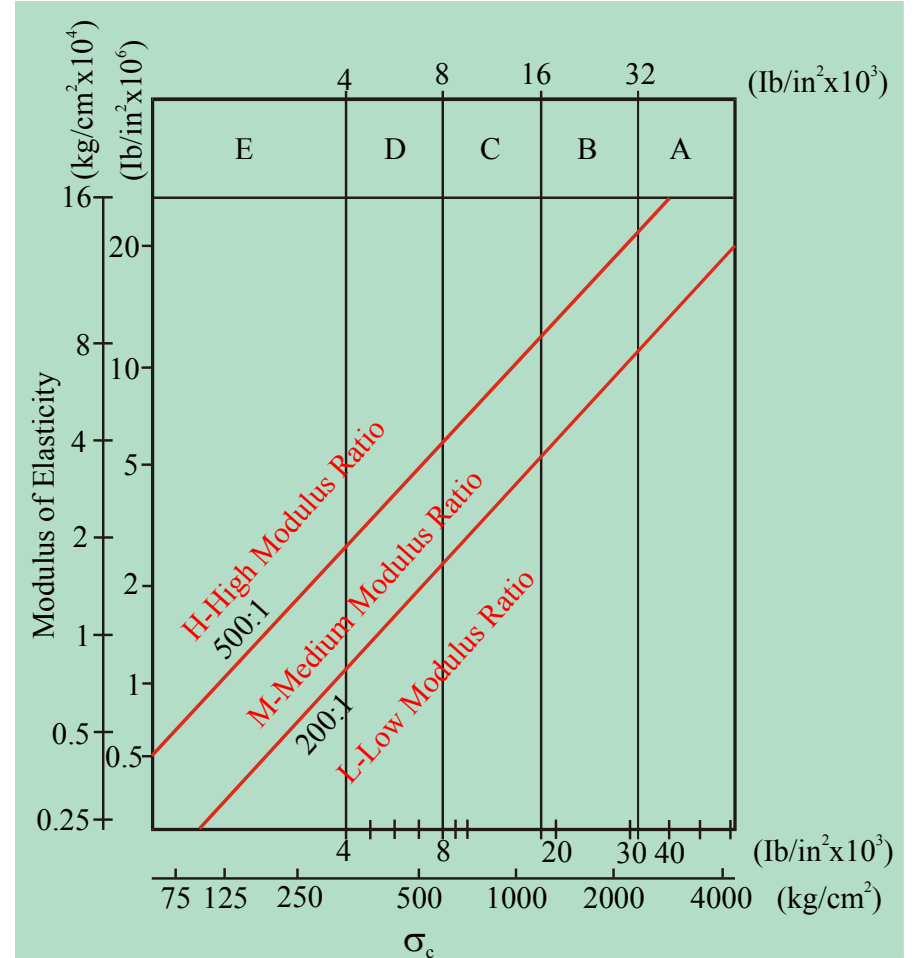
$$S_i = b \frac{1 - \sin \phi}{2 \cos \phi}$$

veya



Kaya Malzemesi İçin Deere & Miller Sınıflaması

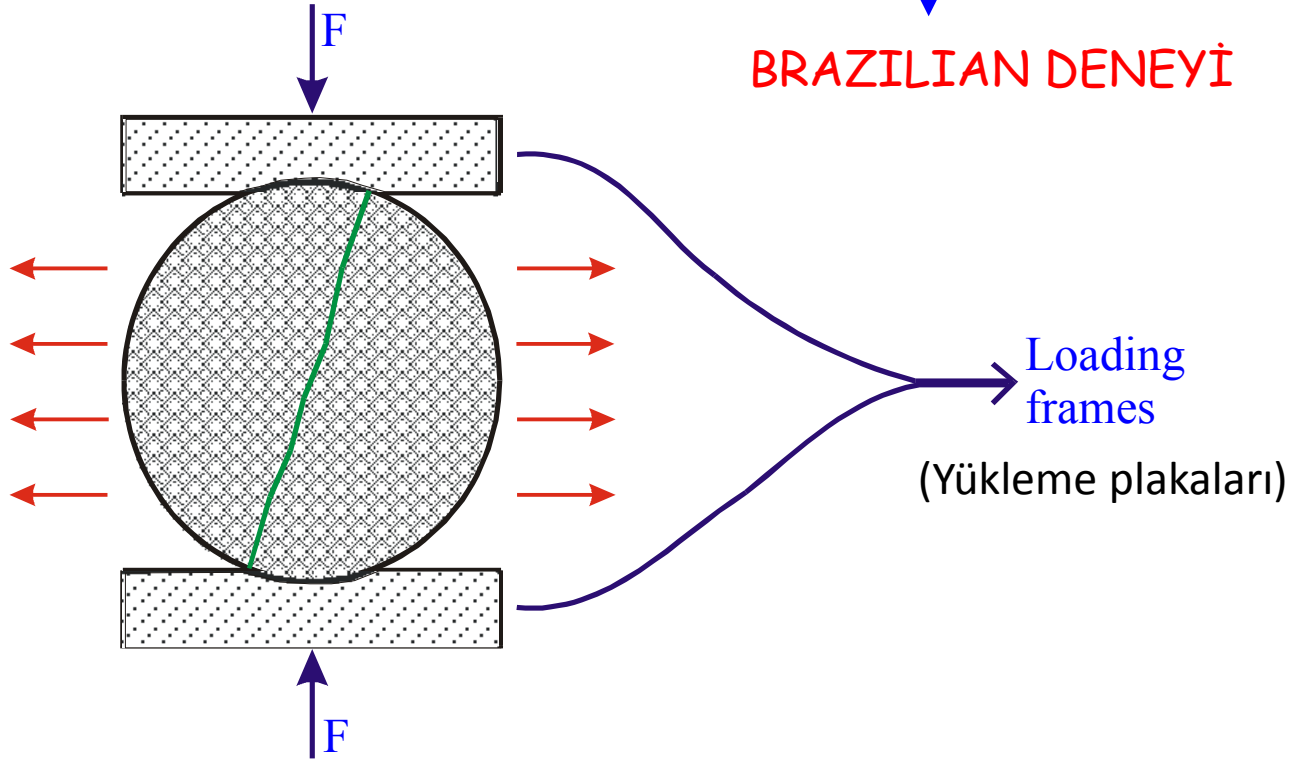
UCS			E		
Sınıf	Dayanım	σ_c (kg/cm ²)	Sınıf	Modül Oranı	Değer
A	Çok yüksek	> 2200	H	Yüksek	> 500
B	Yüksek	1100-2200	M	Orta	200-500
C	Orta	550-1100	L	Düşük	< 200
D	Düşük	275-550			
E	Çok düşük	< 275			



ÇEKİLME DAYANIMI

DOLAYLI YÖNTEM

BRAZILIAN DENEYİ



$$\sigma_t = \frac{0.636F}{t \bullet D}$$

$\Rightarrow$ F: yenilme anındaki yük
D: çap
T: kalınlık

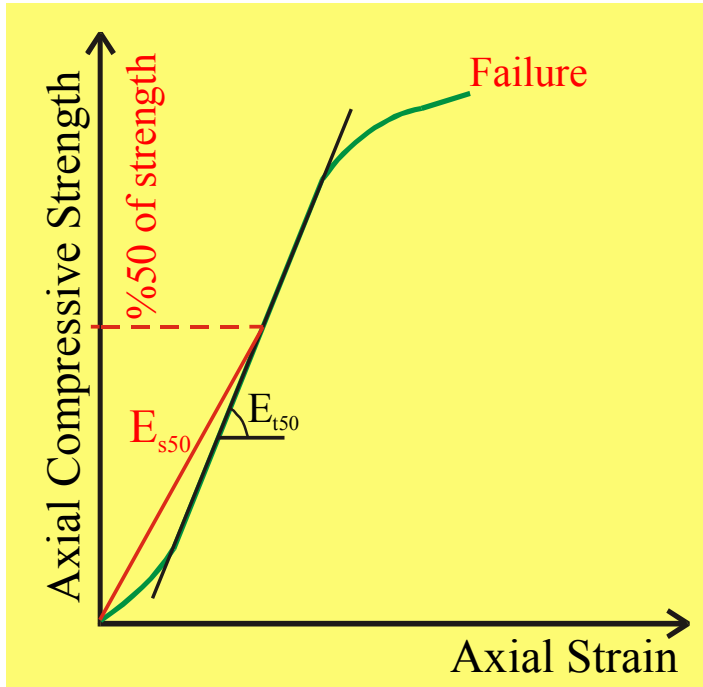
Çekilme dayanımı, yer altı kazılarındaki tavan açıklıklarının tasarımı ve çekilme ile gelişen ani yenilmelerin tahmini gibi kaya mühendisliği uygulamalarında önemli bir rol oynar.

$$\sigma_c > \tau > \sigma_t$$

KAYA DEFORMASYONU

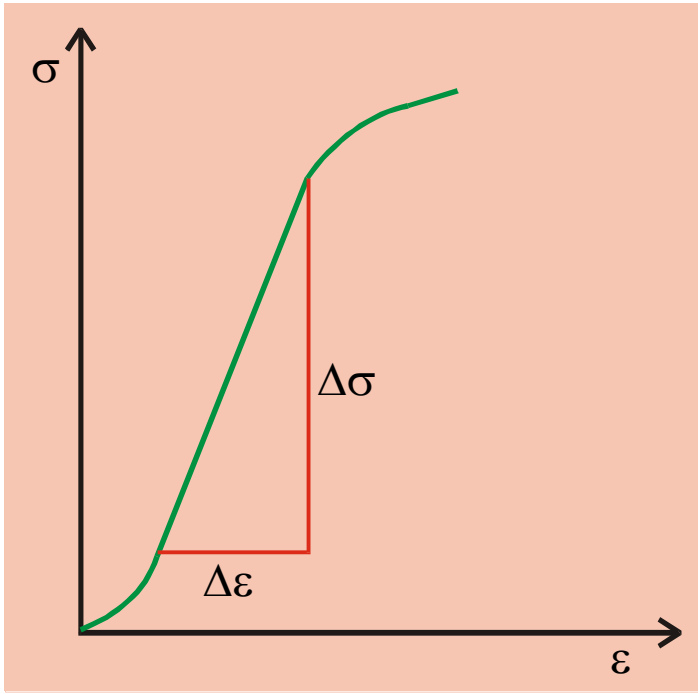
STATİK ELASTİSİTE MODÜLÜ & POSSON ORANI

E_M : eksenel sıkışmadan kaynaklı eksenel deformasyon, gerilim-birim deformasyon eğrisi ile gösterilir.



Ortalama elastisite modülü: eğrinin doğrusal bölümünün eğiminden elde edilir.

$$E = \frac{STRESS}{STRAIN} = \frac{\sigma}{\tau}$$



$$E_{av} = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\epsilon}$$

Kiriş (sekant) modülü (E_s) ve teğet (tanjant) modülü (E_t), mühendislik uygulamalarında daha yaygın olarak kullanılır. Standartlaştırmak için, sekant ve tanjant değerleri doruk dayanımın yüzdesinden veya sabit bir değerinden elde edilir. %50 seviyesi bugün sekant modülü E_{s50} ve tanjant modülü şeklinde sıklıkla kullanılmaktadır.

Sekant modülü daha tutucudur. Doruk dayanımın seçilen yüzdesinde oluşabilecek maksimum elastik deformasyonu tahmin eder.

Poisson oranı, μ , kullanışlı bir mühendislik özelliğdir çünkü eksenel sıkışma gerilimi altında uzunluktaki değişimle beraber çaptaki değişimi ifade eder.

$$\mu = \frac{\text{çaptaki birim değişim}}{\text{boydaki birim değişim}}$$

μ nün maksimum değeri 0.5'tir ve hem sıkışma dayanımı hem de elastisite modülü ile ters orantılıdır.

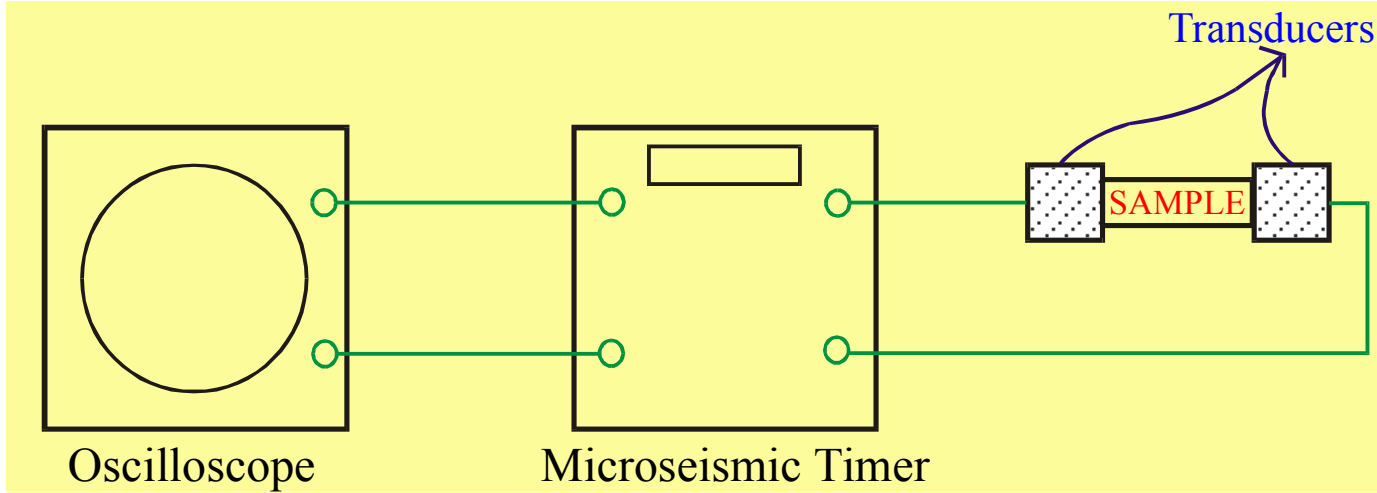
BAZI KAYALAR İÇİN E & μ DEĞERLERİ

	GRANITE	BASALT	GNEISS	SCHIST	QUARZITE	MARBLE	LIME STONE	SAND STONE	SHALE
E_{av} (GPa)	59.3	62.6	58.6	42.4	70.9	46.3	50.4	15.3	13.7
μ	0.23	0.25	0.21	0.21	0.15	0.23	0.25	0.24	0.08

E & μ DİNAMIĞI

Kaya üzerinde hızlı gerilim uygulamalarıyla dinamik parametreler elde edilir. Sıkışma ve makaslama dalga üretici (generator) veya çevirgeci (transducers) karot kaya örneğine bağlanır.

SONİK HIZ EKİPMANI



Örnek boyunca ilerleyen dalganın hızı, üretecten karşı uçtaki bir alıcıya varış süresinden hesaplanır.

Makaslama dalga hızı (V_s), sıkışma dalga hızının (V_p) yaklaşık olarak 2/3'ü kadardır.

Genellikle E_d , E_s 'den büyüktür. Çünkü örneğin çok kısa süreli birim deformasyon ve düşük gerilim seviyeleri için tepkisi özünde tamamen elastiktir.

$$E_d = k \cdot p \cdot V_s^2 \cdot \frac{(3V_p^2 - 4V_p^2)}{(V_p^2 - V_s^2)}$$

$$\mu_d = \frac{V_p^2 - V_s^2}{2(V_p^2 - V_s^2)}$$

$$Y_d = \rho \cdot V_s^2$$

ρ = yoğunluk

V_p = P veya sıkışma dalgasının yayılma hızı

V_s = S veya makaslama dalgasının yayılma hızı

k = birim sabiti

ÖRNEK:

Karot boyu= 0.123 m

$\rho = 2.643 \text{ g/cm}^3$

P-dalgası varış süresi (karot boyunca) = $2.88 \times 10^{-5} \text{ sec}$

S-dalgası varış süresi (karot boyunca) = $5.426 \times 10^{-5} \text{ sec}$

Hız hesaplamaları:

$$\text{P-Dalgası, } V_P = \frac{0.123 \text{ m}}{(2.88 \times 10^{-5} \text{ sec})} = \frac{4270.8 \text{ m}}{\text{sec}}$$

$$\text{S-Dalgası, } V_S = \frac{0.123 \text{ m}}{(5.426 \times 10^{-5} \text{ sec})} = \frac{2266.9 \text{ m}}{\text{sec}}$$

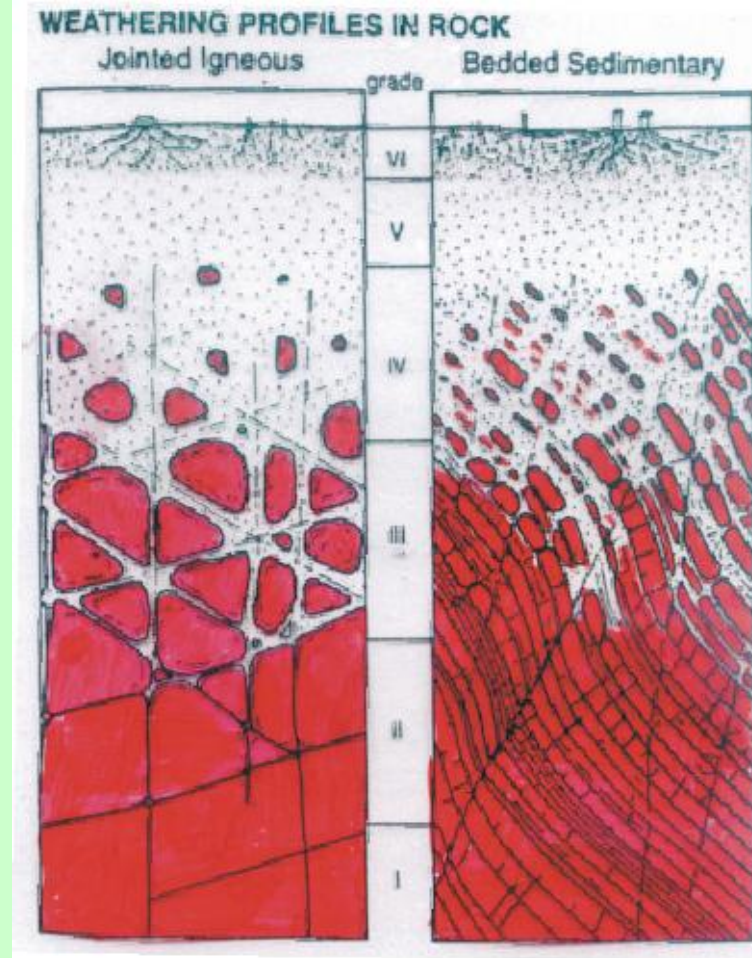
$k = 1000.6$ (kütle yoğunluğuna çevirme)

$$E_d = 1000.6 \times 2.643 \times 2266.9^2 \times \frac{[(3 \times 4270.8^2) (4 \times 2266.9^2)]}{(4270.8^2 \quad 2266.9^2)}$$

$$E_d = 35.44 \times 10^9 \text{ Pa} = 35.44 \text{ GPa} \quad \mu_d = \frac{4270.8 (2 \times 2266.9^2)}{2 \times (4270.8^2 \quad 2266.9^2)} = 0.304$$

BOZUNMA

Kaya kütlesinin bozunması bünyesindeki bozunmuş maddelerin dağılımına ve süreksizliklerdeki bozunmanın etkisine göre tanımlanabilir.



KİMYASAL BOZUNMANIN MÜHENDİSLİK YÖNÜ

Kaya malzemesinin fiziksel özellikleri kimyasal bozunma ile önemli derecede değişebilir. Kaya kütlelerinde sağlam (intact) özelliklerini etkilemeden blok boyunda küçülmeye neden olan fiziksel yada mekanik bozunmanın aksine, kimyasal bozunma kaya malzemesi boyunca yayılabilir.

JEOTEKNİK UYGULAMA

Kısa vadeli etki

Uzun vadeli etki

Gerek yüzeyde gerekse yer altında kayayı elementlere maruz bırakan yapım sırasında ve sonrasındaki problemler.

Bölgedeki kayanın fiziksel durumu üzerindeki etkisi.

Kayanın bu kısa dönemli bozunmaya karşı duyarlılığı bozunabilirlik olarak adlandırılabilir.
Ör: bazı kil içeren kayalarda ufalanma

Kimyasal bozunmanın derecesi bölgedeki zaman, işlemler ve durumu yansıtacaktır.

KAYA ÖZELLİKLERİ:

Sağlam kayanın alterasyonu veya kimyasal bozunmasından kaynaklanan sıkışma dayanımındaki azalma en önemli jeoteknik sonuçtur.

Bozunma derecesi

σ_c & E

KAYA MALZEMESİ BOZUNMA SINIFLAMASI

Tanım	Açıklama	Sınıf
Taze	Kaya malzemesinin bozunduğuna dair görünür bir işaret yok	IA
Hafif Bozunmuş	Ana süreksizlik yüzeyinde renk değişimi	IB
Az Bozunmuş	Kaya malzemesi ve süreksizlik yüzeyinde renk değişimi.Kaya malzemesinde bozunma nedeniyle renk değişimi olabilir ve ilk durumuna göre kısmen daha zayıf olabilir	II
Orta-Derece Bozunmuş	Kaya malzemesinin yarısından azında ayrışma ve/veya parçalanma. Taze veya solmuş kaya ya sürekli bir yapı veya çekirdek taşı olarak bulunmakta.	III
Yüksek-Derece Bozunmuş	Kaya malzemesinin yarıdan fazlası ayrılmış ve/veya parçalanmış. Taze veya solmuş kaya ya süreksiz bir yapı veya çekirdek taşı olarak bulunmakta.	IV
Tamamen Bozunmuş	Tüm kaya malzemesi ayrılmış ve/veya parçalanmış. Orijinal kütle yapısı hala çoğunlukla sağlam.	V
Rezidüel(Artık) Toprak	Tüm kaya malzemesi toprağa dönüşmüş. Kütle yapısı ve malzeme dokusu tahrip olmuş. Hacimde büyük bir değişiklik var ama toprağın önemli bir kısmı taşınmamış (yerinde).	VI

İNDEKS DENEYLER:

Kaya malzemesi için dayanım,bozunabilirlik ve bozunma derecesinin belirlenmesini sağlayan çeşitli saha ve laboratuvar deneyleri mevcuttur. Bunlara İNDEKS DENEYLER denir.

İndeks deneylerin avantajları ve dezavantajları:

- ✓ deney hazırlığının ekonomikliğı
- ✓ deney süresinin kısalığı
- ✓ deney ekipmanının az gelişmiş olması
- ✓ çoğu jeoteknik uygulamaları için genellikle temsil edici ve niteleyici oluşu
- ✓ standart laboratuvar deneylerinden daha kesin ve doğru olmayışı (UCS, σ_t etc)

Nokta Yüğü İndeksi & Schmidt Çekici

(Point Load Index) (Schmidt Hammer)



En sıklıkla kullanılan

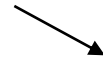


σ_c , σ_t & E tahmininde

Nokta Yüğü İndeksi

Karşılıklı iki konik çelik yüzey tarafından kaya örneğine uygulanan sıkışma gerilmesinin ile örnek yenilir.

$$I_s = F/D^2$$



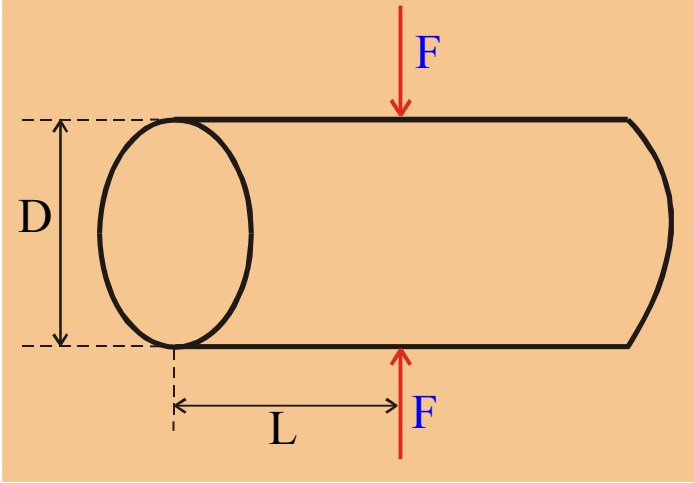
İki nokta arasındaki mesafe

Çekme gerilmesi, I_S yaklaşık olarak %80'i kadardır .

$$\sigma_c = k \cdot I_{S(50)}$$

50 mm mesafe için I_S düzeltmesi.

k , 9'dan 50'ye değişir.



Çapsal deney

$$L > 0.7D$$

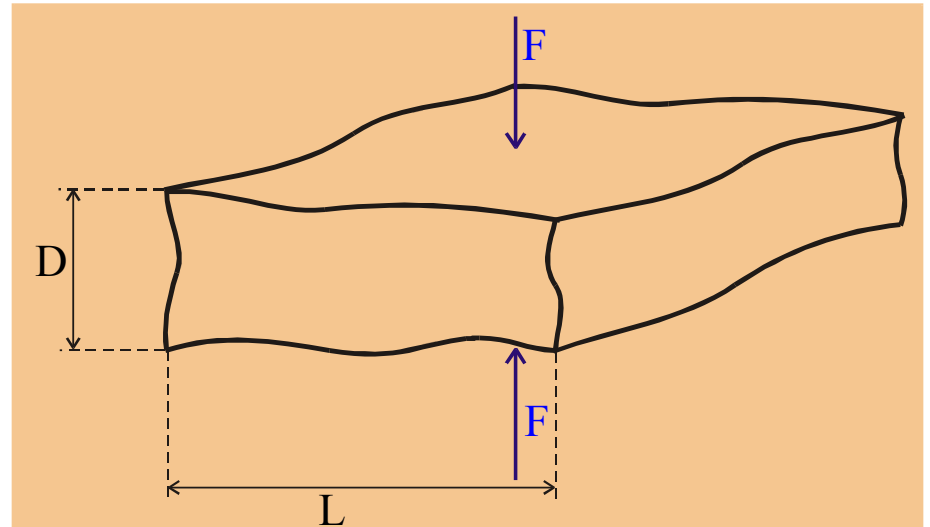
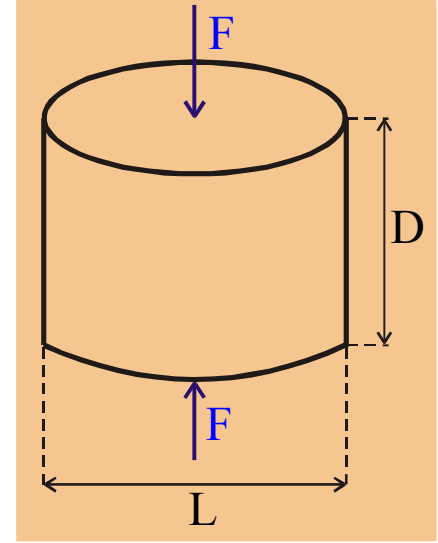
Blok ve düzensiz örneklerde deney

$$D \approx 50 \text{ mm}$$

$$\frac{D}{L} = 1.0 - 1.4$$

Eksenel deney

$$\frac{D}{L} = 1.1 \pm 0.005$$





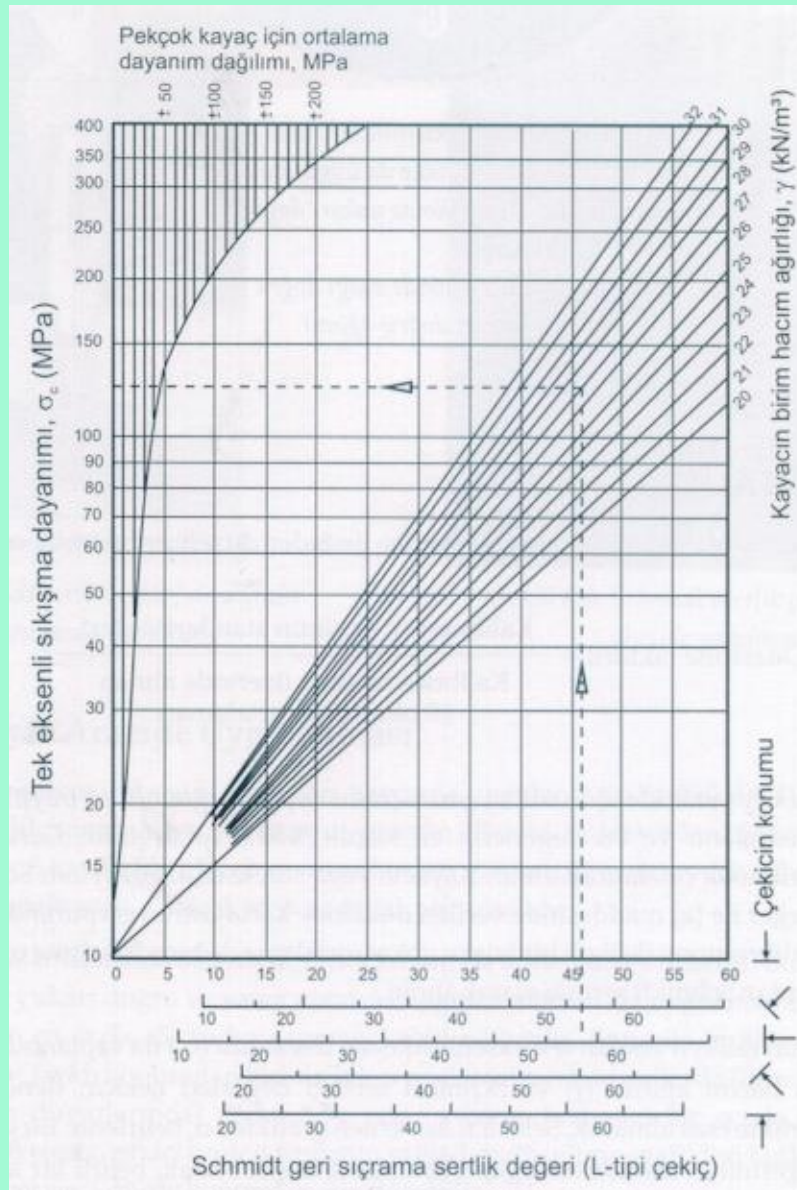
Nokta yükleme deney aleti

SCHMIDT ÇEKİCİ DENEYİ

UCS & E belirlenmesi için kullanılır.



Schmidt sertlik çekici deneyinin laboratuvarda yapılması



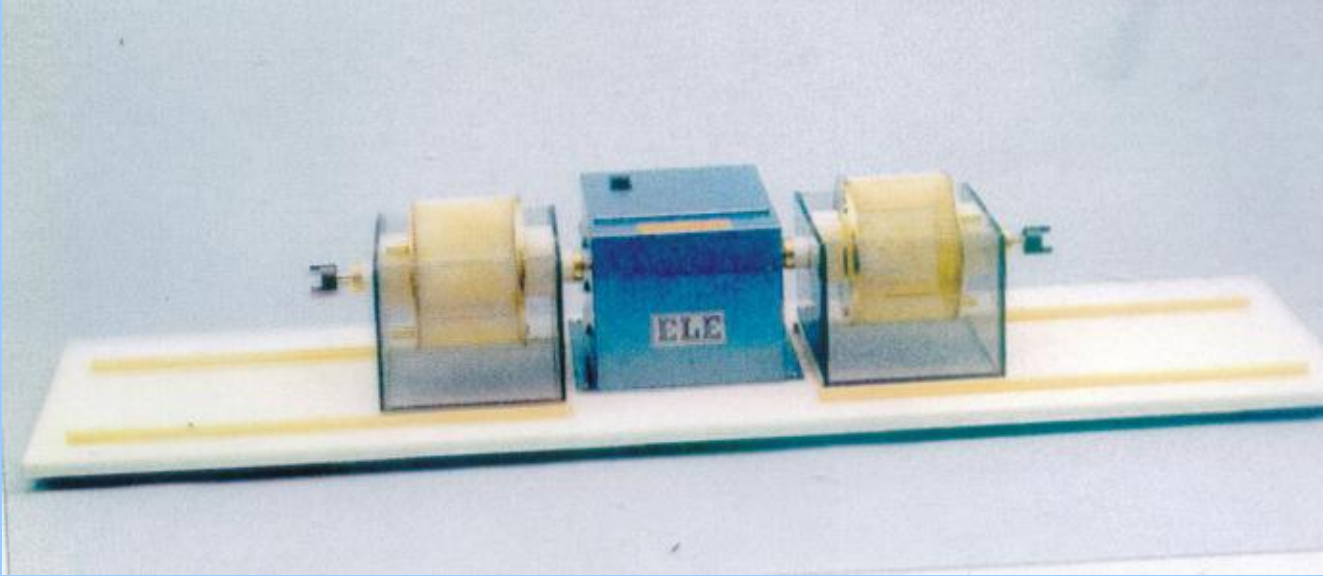
Schmidt sertlik ve tek eksenli sıkışma dayanımı arasındaki ilişki (Deere and Miller, 1966)

SUDA DAĞILMAYA KARŞI DURAYLILIK İNDEKSİ (SLAKE DURABILITY) DENEYİ

Zengin kil içerikli toprak ve kayaların bozunma ve parçalanma karakteristiklerinin mühendislik önemi büyüktür.

Kil içeriği yüksek kayaların bozunabilirliği problem teşkil etmektedir. Çünkü bu kayaların performansları suya maruz bırakıldıklarında pekişme derecesi açısından yanlış yönlendirecek gözlemlere neden olabilir.

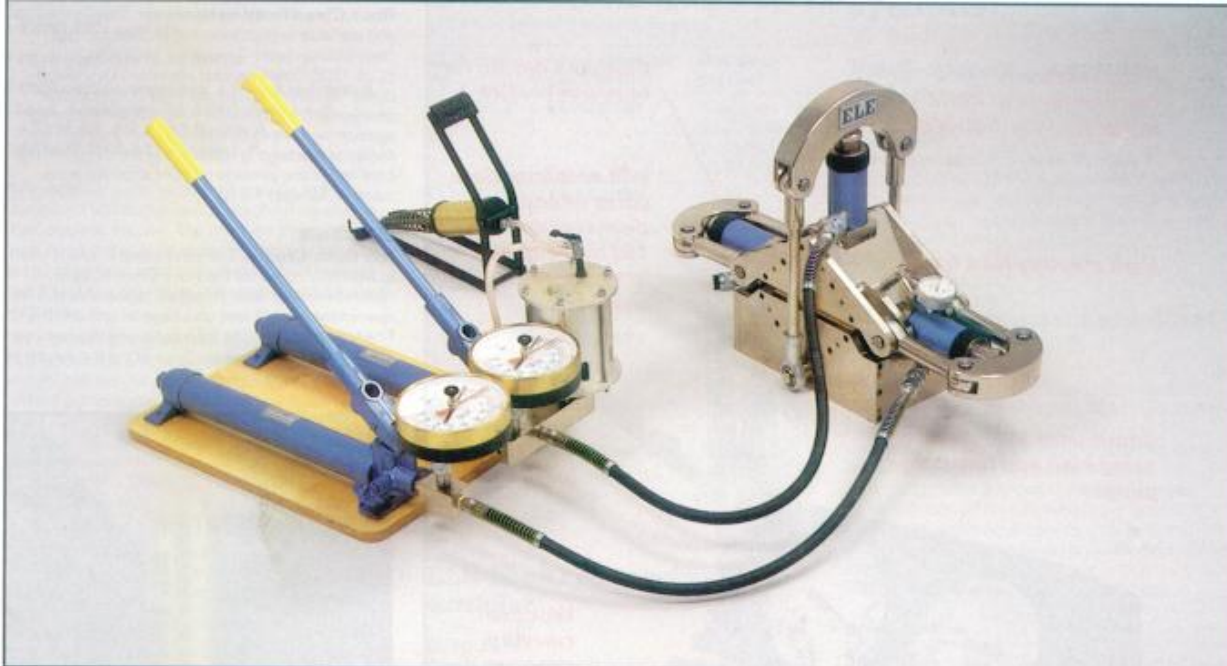
İki çevrimli suda dağılmaya karşı duraylılık indeks deneyi kil içeriği yüksek kayaların bozunma sınıflaması için standart olarak önerilmiştir.



Suda dağılmaya karşı duraylılık indeksi deney düzeneği

I_{d2} Sınıflaması

I_{d2} (%)	Sınıflama
0-30	Çok düşük
30-60	Düşük
60-85	Orta
85-95	Orta derecede yüksek
95-98	Yüksek
98-100	Çok yüksek



Taşınabilir makaslama kutusuyla doğrudan makaslama deneyinin yapılışı

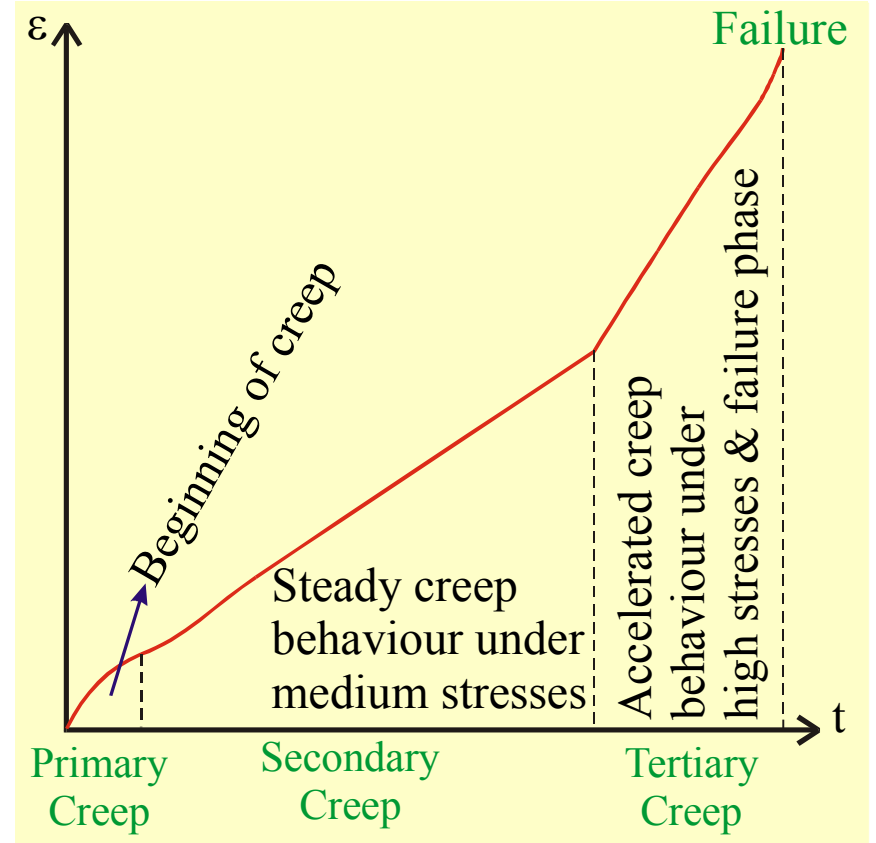
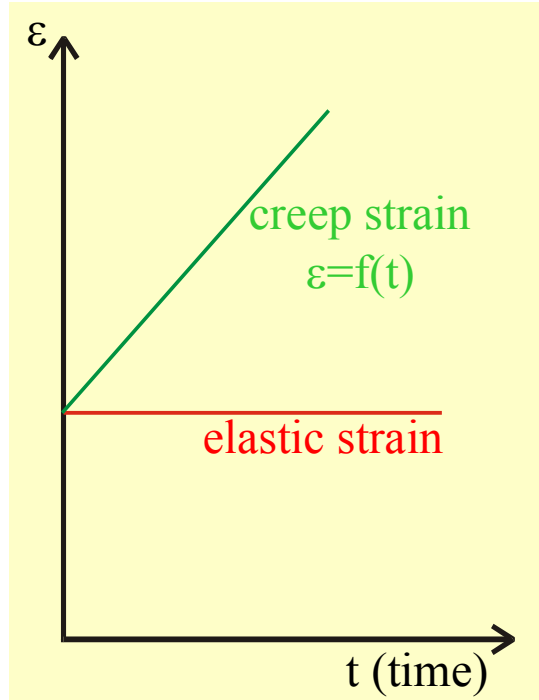
Creep (Akma) Davranışı:

Aslında, gerilim altında malzemeler mükemmel elastik davranış göstermezler.

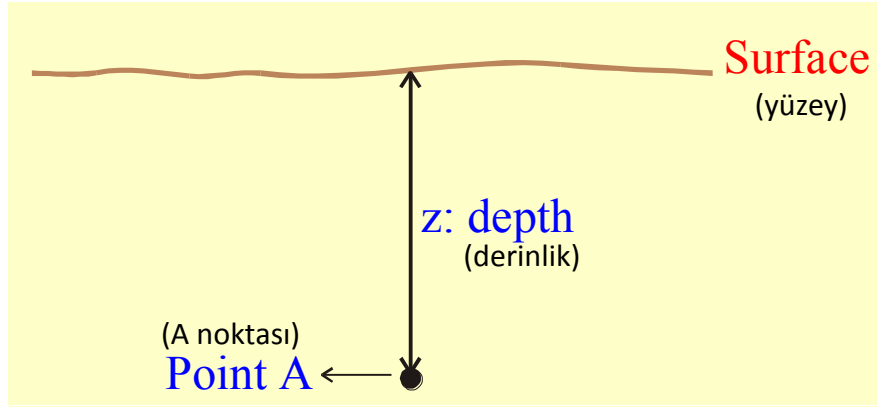
Tüm malzemeler:

- ✓ elastik
 - ✓ plastik
 - ✓ akma
- } davranışı gösterir.

Sabit bir gerilim altındaki malzemenin zamana bağlı deformasyonu akma (creep) olarak tanımlanabilir.



Bir noktadaki gerilim:



örtü yükünün birim hacim ağırlığı, γ

$$\sigma_v = \gamma \cdot z$$

$$\sigma_h = k \cdot \sigma_v$$

$$k = \frac{\sigma_h}{\sigma_v}$$

Yatay gerilim

Düşey gerilim

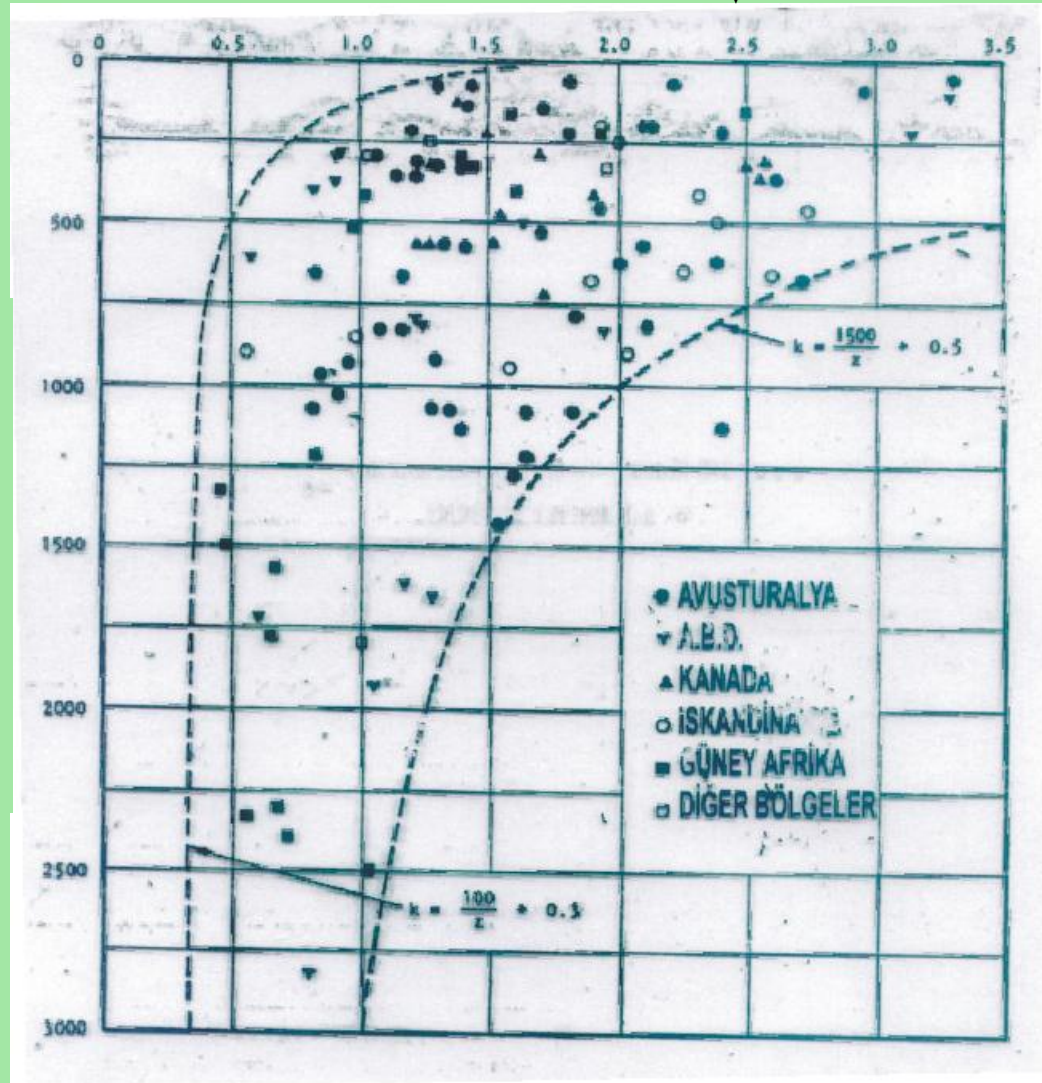
gerilim alanı katsayısı

Terzaghi-Richard Yaklaşımı:

$$k = \frac{\mu}{1 - \mu}$$

$$k = \frac{\text{ortalama yatay gerilim, } \sigma_{\text{hav}}}{\text{düşey gerilim, } \sigma_v}$$

Yüzeyden derinlik, z (m)



$$(100/z + 0.3) < k < (1500/z + 0.5)$$