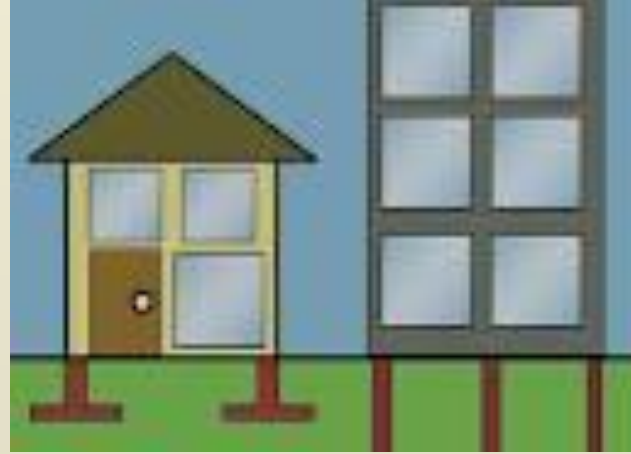


Zemin sınıflandırması ve zemin özellikleri- Laboratuvar deneyleri

**Doç. Dr. İlknur Bozbey
İstanbul Üniversitesi
İnşaat Mühendisliği Bölümü
Geoteknik ABD**

Zemin-yapı ilişkisi nasıl oluşur?



**Yapı zemin
üzerinde**

-

Yapı temeli

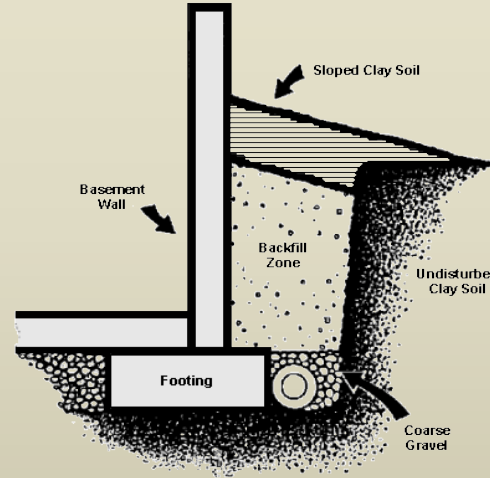


**Yapı zemin
içerisinde**

-

Tünel, boru
hatları, gömülü
tüm yapılar

Zemin-yapı ilişkisi nasıl oluşur?



**Zemin:
Dolgu
malzemesi
olarak**

-

Barajlar,
karayolları,
demiryolları,
temel altı,
dolgular,
geçirimsiz kil
şilteler, geri dolgu
malzemesi

Geoteknik tasarım için nelere ihtiyaç duyuyoruz?

Tasarım konusu	Değerlendirilmesi gereken konular	Analizler için gerekli bilgiler	Laboratuvar deneyleri
Yüzeysel temeller	Temel taşıma gücü (Kısa-uzun dönem) Oturma (miktarı ve hızı) Şişme/büzülme	Zemin profili (+YASS) Zemin sınıfları Birim hacim ağırlıkları Kayma mukavemeti parametreleri Oturma parametreleri Gerilme tarihçesi Kayalar-çatlaklar-çatlakların yönü	Dane çapı dağılımı Kıvam Limitleri Su muhtevası Organik içerik Konsolidasyon deneyi Kesme kutusu deneyi Üç eksenli basınç deneyi Şişme potansiyeli Kaya numuneleri üzerindeki deneyler

Geoteknik tasarım için nelere ihtiyaç duyuyoruz?

Tasarım konusu	Değerlendirilmesi gereken konular	Analizler için gerekli bilgiler	Laboratuvar deneyleri
Derin temeller	Kazık uç mukavemeti	Zemin profili (+YASS)	Dane çapı dağılımı
	Yanal sürtünme	Zemin sınıfları	Kıvam Limitleri
	Oturma	Birim hacim ağırlıkları	Su muhtevası
	Negatif çevre sürtünmesi	Kayma mukavemeti parametreleri	Organik içerik
	Yanal toprak basıncı	Yanal toprak basıncı	Üç eksenli basınç deneyleri
	Çakma kazıklar için çakılabilirlik	Kazık-zemin sürtünmesi	Konsolidasyon deneyi
	Çakma sırasında çevredeki yapılara olan etkiler	Oturma parametreleri	Kesme kutusu deneyi
		Gerilme tarihçesi	Şişme potansiyeli
		Kayalar-çatlaklar-çatlakların yönü	Kaya numuneleri üzerindeki deneyler



Laboratuvar deneylerinin planlanması

Tasarımda hangi zemin özelliklerine ihtiyaç duyulmaktadır?

Bu özelliklerin elde edilmesi için hangi deneylerin yapılması gerekir?

➤ Potts (2003) *Numerical analysis: a virtual dream or practical reality?*
Geotechnique

“Arazi incelemeleri ile ilgili alışkanlıklarımızın ve rutin deney programlarının değişmesi gerekiyor”

Laboratuvar deneylerinin planlanması

Bu parametreler için ne tip numuneler alınmalıdır?

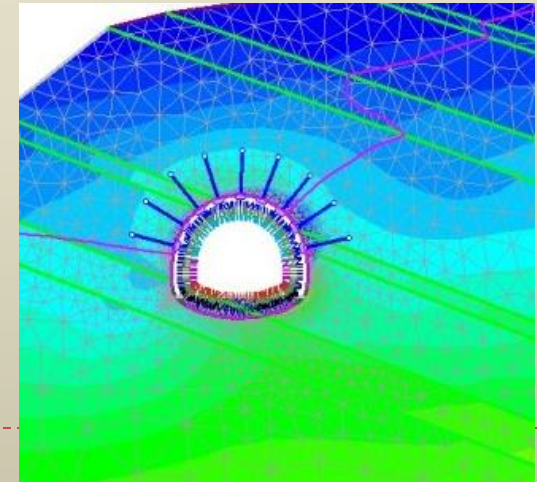
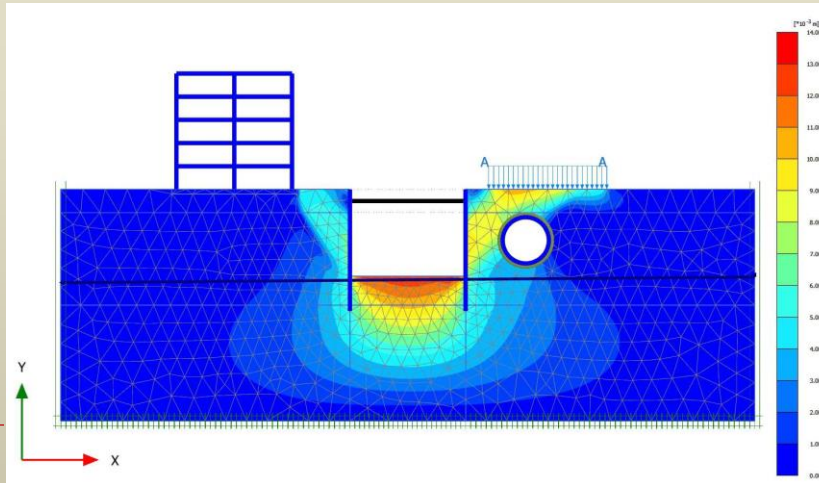
- ▶ Örselenmiş numune
- ▶ Örselenmemiş numune

Tasarımcı deneylerin yapılışı, süresi konusunda bilgi sahibi olmalıdır.

Deney verilerini yorumlayabilme, değerlendirebilme yeteneği önemli ve gereklidir.

Zemini doğru tanımak ve parametreyi doğru ölçmek önemli!

“Seçtiğimiz geoteknik parametreler ve arazideki zemin profilini nasıl idealize ettiğimiz, hangi seviyede analiz yaptığımızdan çok daha önemlidir.”

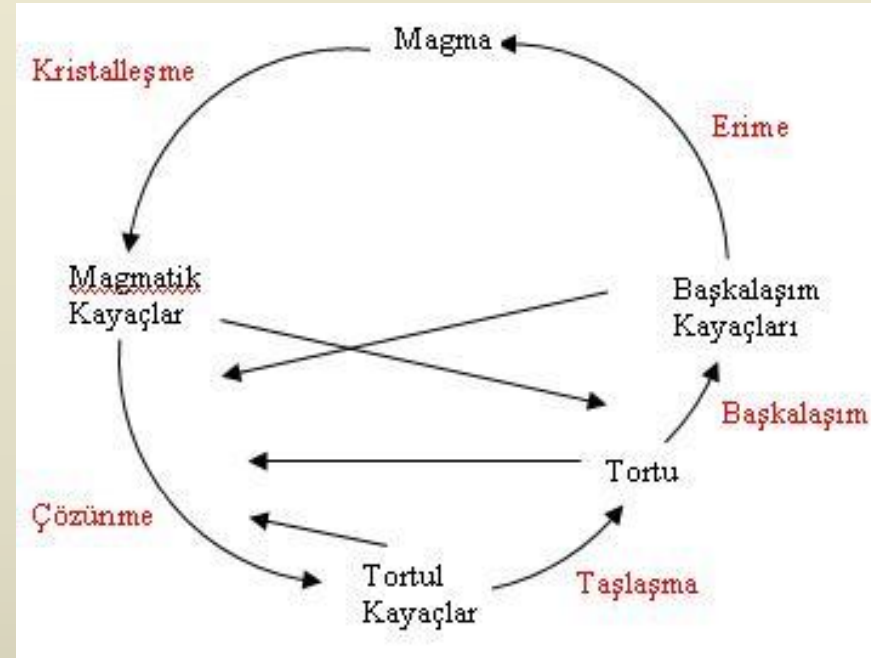


Zeminlerin oluşumu

Kayaçlar ayrışma, yıpranma ve kimyasal mekanizmalarınca zemine dönüşürler.

Bu mekanizmalar;

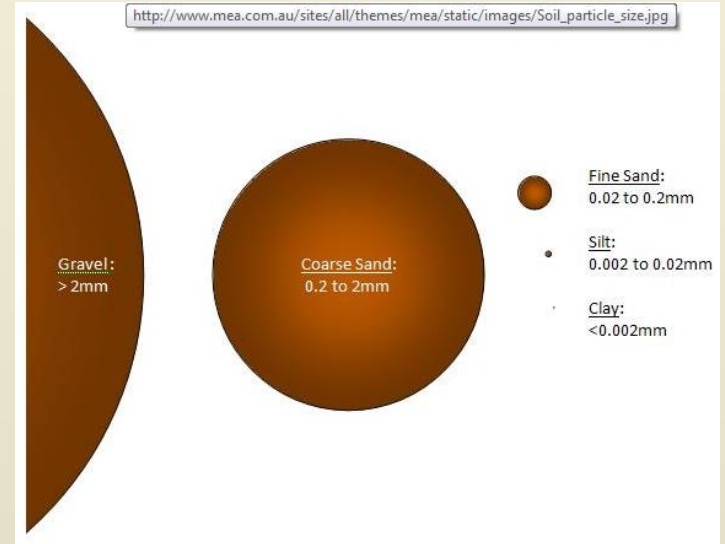
- yükleme boşalma sonucu kırılma,
- ısı kökenli gerilmeler,
- ıslanma, kuruma döngüleri,
- oksitlenme, redüklenme,
- katyon değişimi



Zeminlerin dane boyu

Zemin Mekaniği'nin ilgilendiği dane boyutu yaklaşık olarak 60 mm'den 1 mikrona kadar aralıkta değişir.

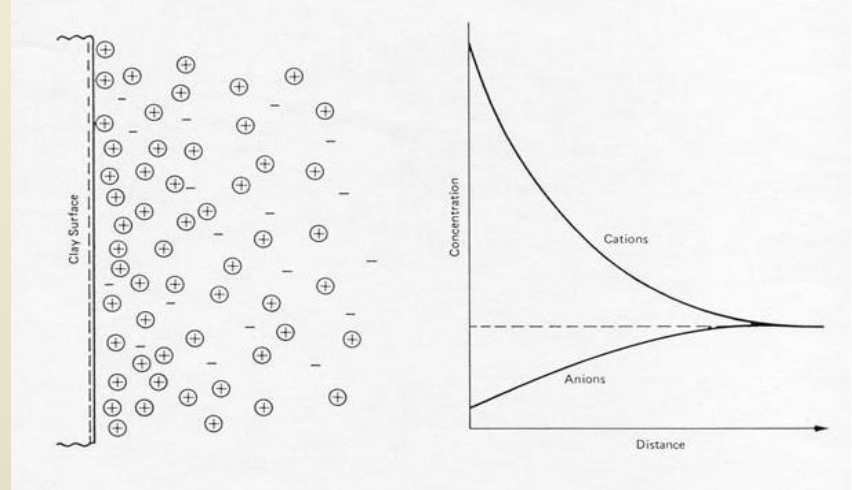
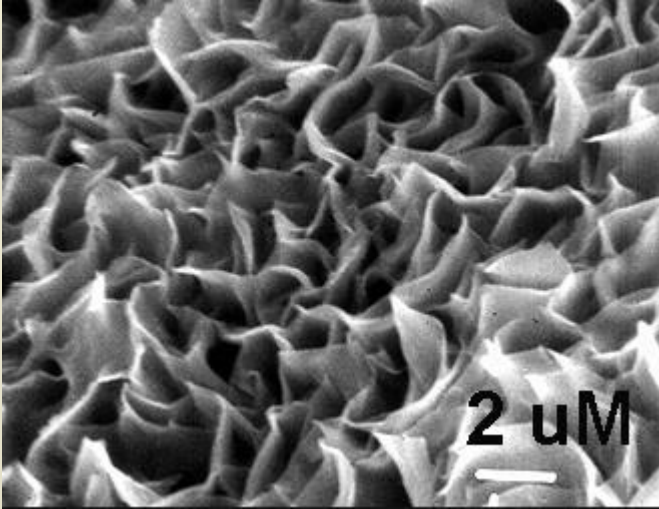
Farklı standartlara göre dane boyutuna göre sınıflandırma:



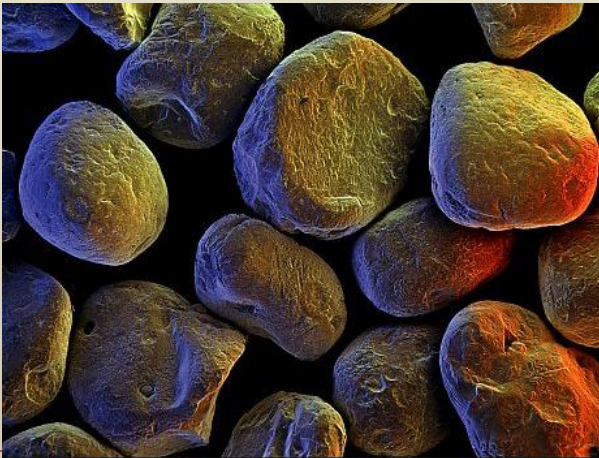
	TS	ASTM	BS
	mm	mm	mm
TAŞ, BLOK	>60	>75	>60
ÇAKIL	60-2	75-4.75	60-2
KUM	2-0.075	4.75- 0.075	2-0.06
SİLT	0.075-0.002	0.075-0.002	0.06-0.002
KİL	<0.002	<0.002	<0.002

Kil-kum mikroyapı farklılığı

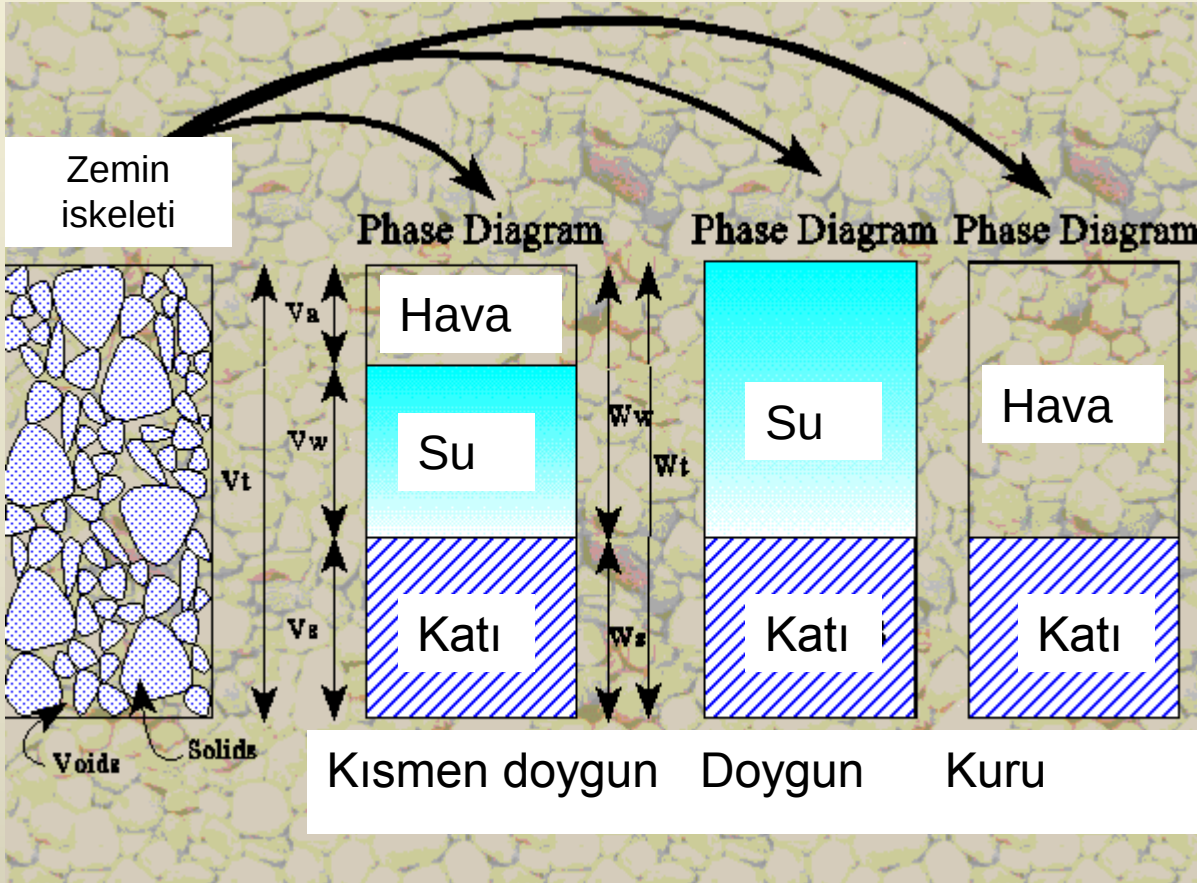
Kil



Kum

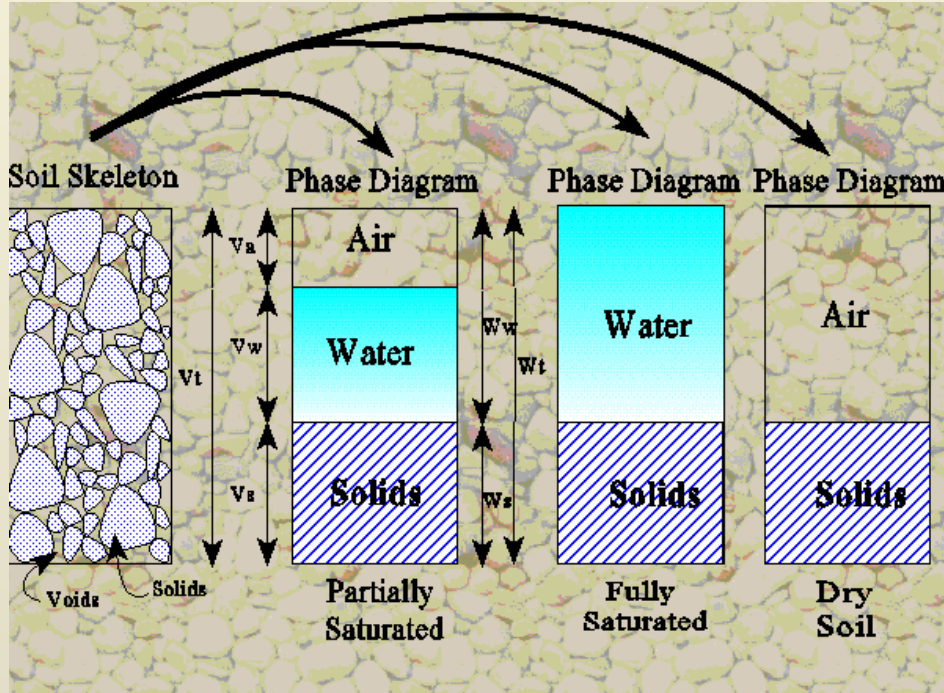


Faz diyagramları-Tanımlar



Zeminler üç fazlıdır. Bu fazlar katı, su ve havadır.

SOL TARAF



Boşluk oranı $e = \frac{V_v}{V_s}$

e değerleri 0 ile sonsuz arasında değişebilir.

$e_{killer} \gg e_{kumlar}$

Porozite $n = \frac{V_v}{V}$

n değerleri 0 ile 1 arasında değişebilir.

Doygunluk oranı, %

$$S = \frac{V_w}{V_v} * 100$$

S değerleri değerleri %0 ile %100 arasında değişir.

SAĞ TARAF

Tabii birim hacim ağırlık, γ_n

Toplam ağırlığın, toplam hacme oranıdır.

Doygun birim hacim ağırlık, γ_{sat}

Tüm boşluklar su ile dolu olduğu durum için geçerli olan birim hacim ağırlıktır.

Kuru birim hacim ağırlık, γ_d

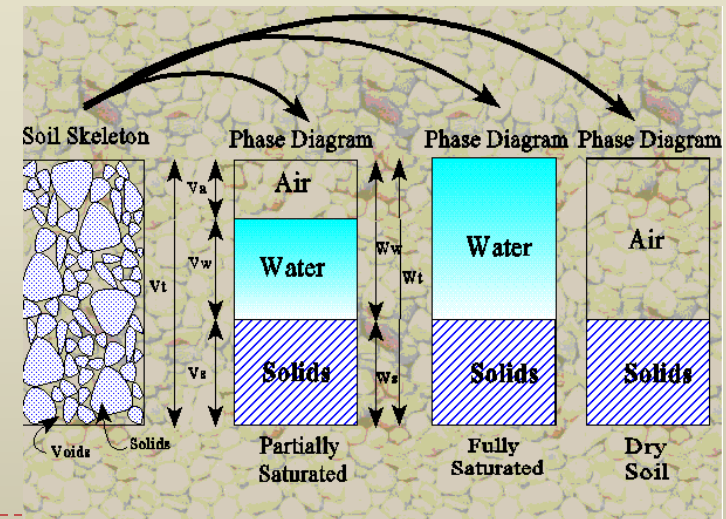
Sadece danelerin ağırlığının toplam hacme oranıdır.

Su muhtevası, w

$$w = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Spesifik gravite,

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$



Tipik değerler

Su muhtevası, w

Kumlar %10 - %20

İnorganik killer %10 - %40

Organik içeriği yüksek, yumuşak, yüksek plastiseli killer %40 - %300

$$w = \frac{W_w}{W_s} * 100$$

Spesifik gravite

Çakıl ve kum 2.65-2.68

İnorganik kil 2.68-2.76

Kil 2.70

Kum 2.65

$$G_s = \frac{\gamma_s}{\gamma_w}$$

Laboratuvar deneyleri

- ▶ Su muhtevası
- ▶ Dane çapı dağılımı
 - ▶ Mekanik elek ve
 - ▶ Hidrometre
- ▶ Kıvam Limitleri
- ▶ Kompaksiyon
- ▶ Konsolidasyon
- ▶ Mukavemet deneyleri
 - ▶ Serbest basınç
 - ▶ Kesme kutusu
 - ▶ Üç eksenli basınç deneyleri



Zemin sınıflandırması ve zemin özellikleri

Su muhtevası ölçümü: Basit ama önemli!

Arazideki su muhtevasını kaybetmemiş numunelerde ölçülmelidir.

İnce daneli zeminler için çok önemlidir.

- ▶ Su muhtevası kabı alınır ve tartılır. Kabin temiz olması gereklidir.
- ▶ Kabin içine yeterli miktarda zemin numunesi konulur ve tartılır.
- ▶ Kap fırına konulur. Fırın sıcaklığı 105°-110° arasında olmalıdır.
- ▶ Yaklaşık 24 saat sonra numune çıkarılır ve tartılır.



Dane apı dağılımı-Mekanik elek analizi



U.S. Standard Sieve No.	Sieve Opening (mm)
3	6.35
4	4.75
6	3.35
8	2.38
10	2.00
12	1.68
16	1.20
20	0.85
30	0.60
40	0.425
50	0.30
60	0.25
70	0.21
100	0.15
140	0.106
200	0.075



Dane apı dağılımı-Mekanik elek analizi

Eleme kuru ve yıkamalı olmak üzere iki farklı şekilde yapılır.

Kuru eleme temiz çakıl ve kumlarda yapılır. Zemin en üstteki eleğe konulur ve elek analizi yapılır.

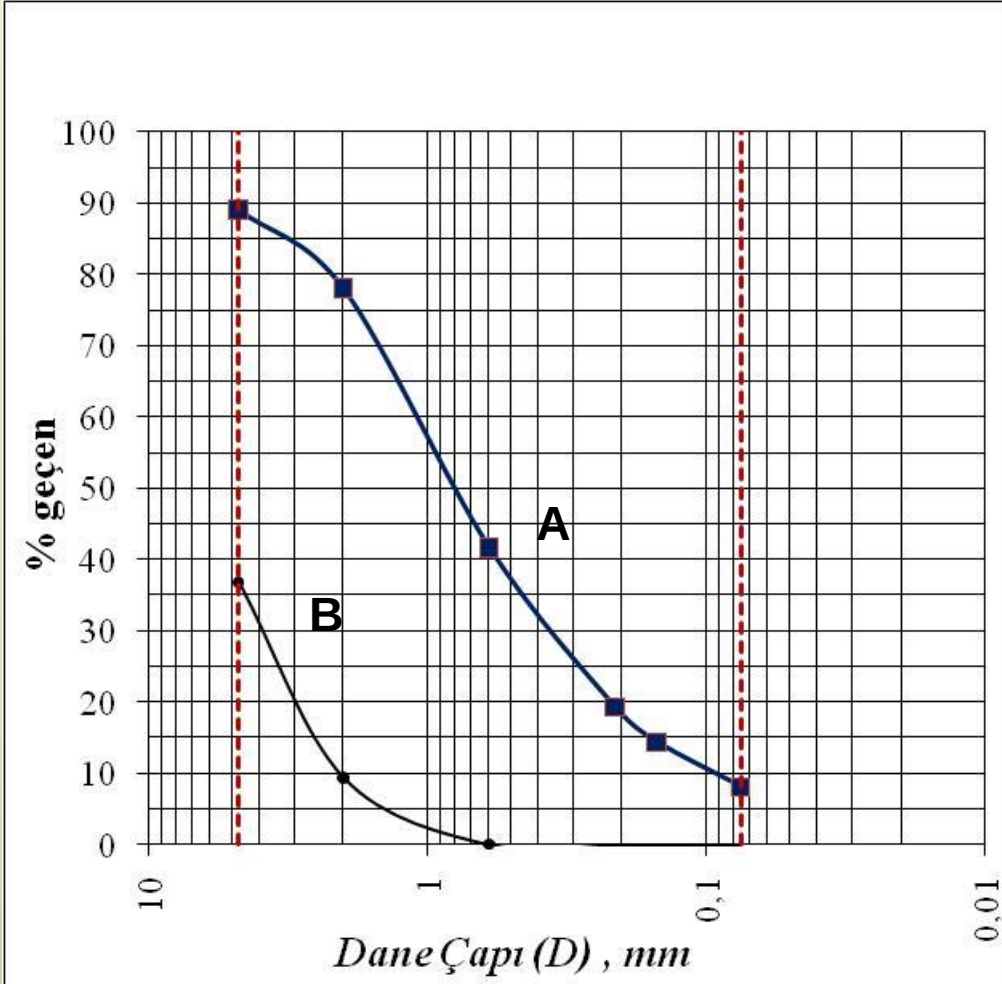
Numunenin içinde ince oranı çok ise topaklar sorun yaratabilir, ayrıca inceler büyük danelere yapışmış olabilir. Bu nedenle önce 200 nolu elekten yıkanır, geriye kalan malzeme kurutularak elek analizi yapılır.

Mekanik elek “silt ve kili” birbirinden ayıramaz.

Dane apı dağılımı-Mekanik elek analizi



Dane apı dağılımı-Granülometri eğrisi



ASTM'ye göre

	A	B
akıl	%10	%65
Kum	%81	%35
Silt ve kil	%9	%0

 niformluk
katsayısı

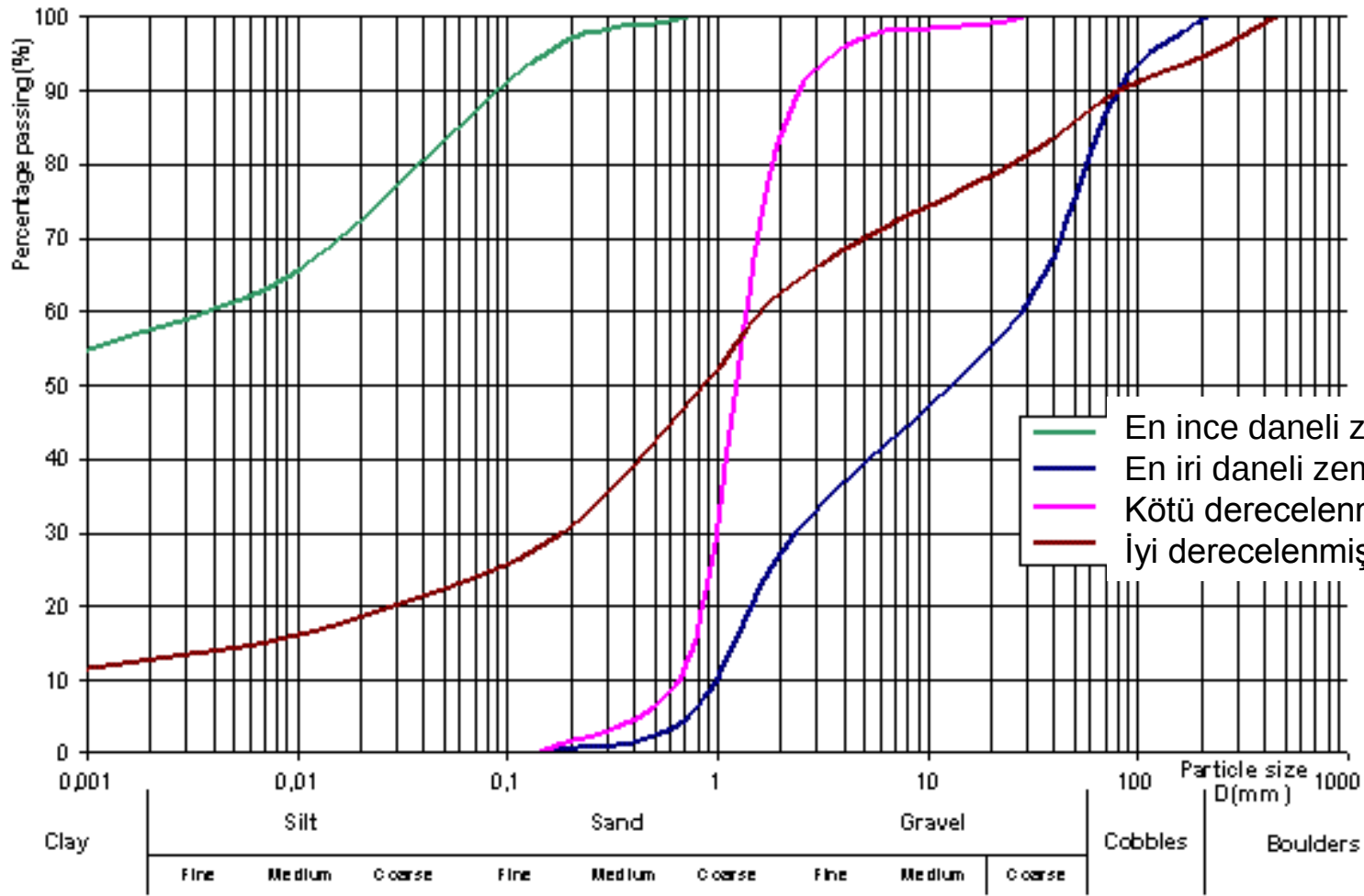
$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

Süreklilik
katsayısı
(konkavlık)

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{60}D_{10}}$$

 ri daneliler için önemli

Dane apı dağılımı-Granülometri eğrisi



Hidrometre deneyi

Kil ve silt yüzdesini bulmak amacı ile yapılır.

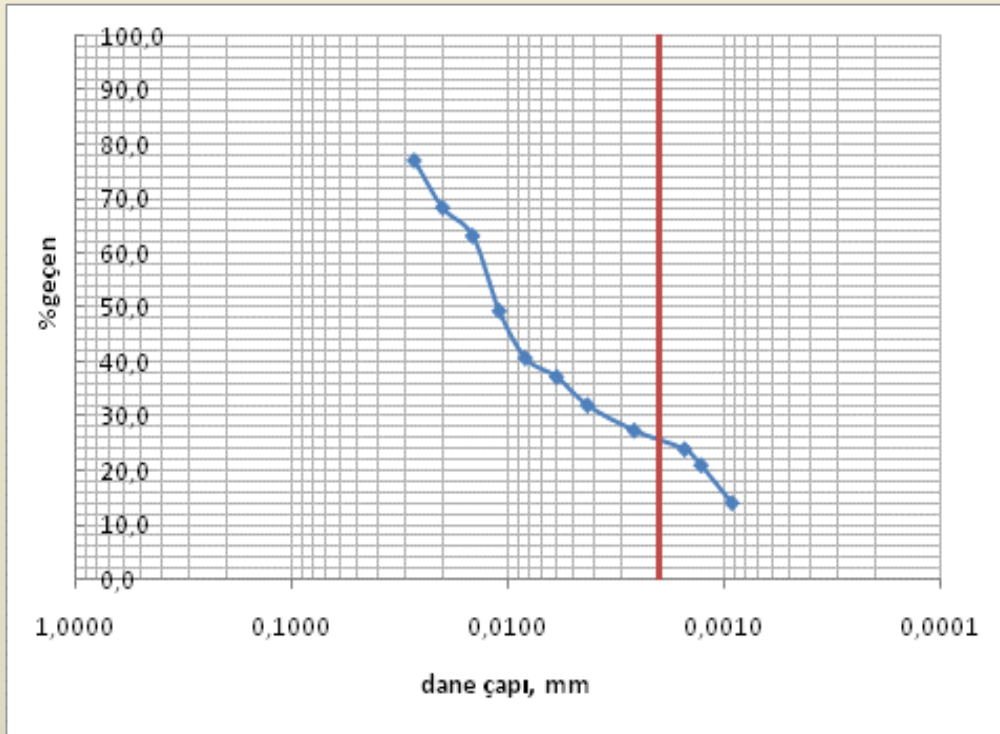
Sıvılaşma analizlerinde kil ve silt yüzdesini bilmek gerekir.

Hidrometre deneyinde, 200 nolu eleğin altına geçen zeminler su içerisinde çöktürülür ve çökme hızına bağlı olarak dane çapı-% geçen grafiği çizilebilir.



Solüsyonda büyük daneler önce çöker, küçük daneler sonra çöker.

Hidrometre deneyi



$$D^2 = \frac{18\mu V}{\gamma_s - \gamma_L}$$

Kıvam Limitleri

Atterberg tarafından önerilen bu limitlerde zeminlerin davranışları değişir. Bu limitler davranışın değiştiği “su muhtevası” değerleridir.

Kıvam Limitleri ince daneli zeminler için çok önemli indeks parametreleridir.

Likit Limit, LL

Zeminin sıvı gibi davranmaya başladığı su muhtevasıdır.

Plastik Limit, PL

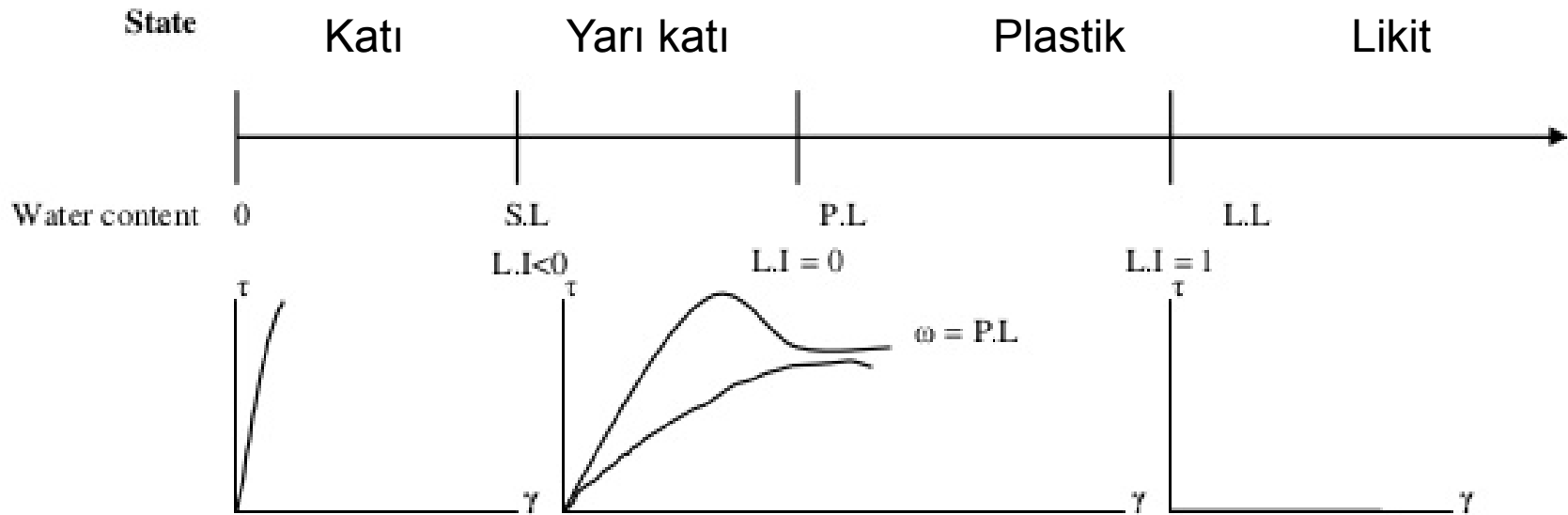
Zeminin plastik davrandığı en düşük su muhtevasıdır.

Büzülme Limiti, SL

Zeminin katı gibi davranmaya başladığı su muhtevasıdır.



Kıvam Limitleri



Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi ve kıvam limitleri

Kıvam Limitleri

Plastisite İndisi (PI) = $LL - PL$ 'dir.

Doğal su muhtevası LL ve PL ile karşılaştırılıp, zeminin kıvamı konusunda bilgi elde edilebilir.

Aynı su muhtevası... Farklı kıvam... Farklı davranış...

A zemini $w_n = \%80$, $LL = \%70$, $PL = \%35$

Kıvam?

B zemini $w_n = \%80$, $LL = \%100$, $PL = \%50$,

Kıvam?



Likit Limit Deneyi

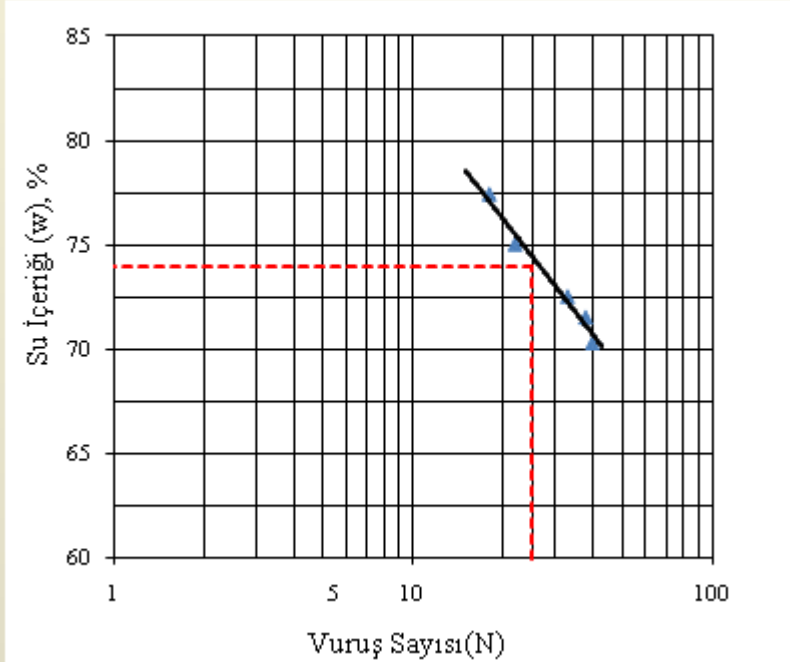


Kıvam Limitleri 40 nolu eleğın altındaki zemin ile yapılır.

Casagrande Likit Limit Deneyi
Oluđu kapatan vuruş sayısı

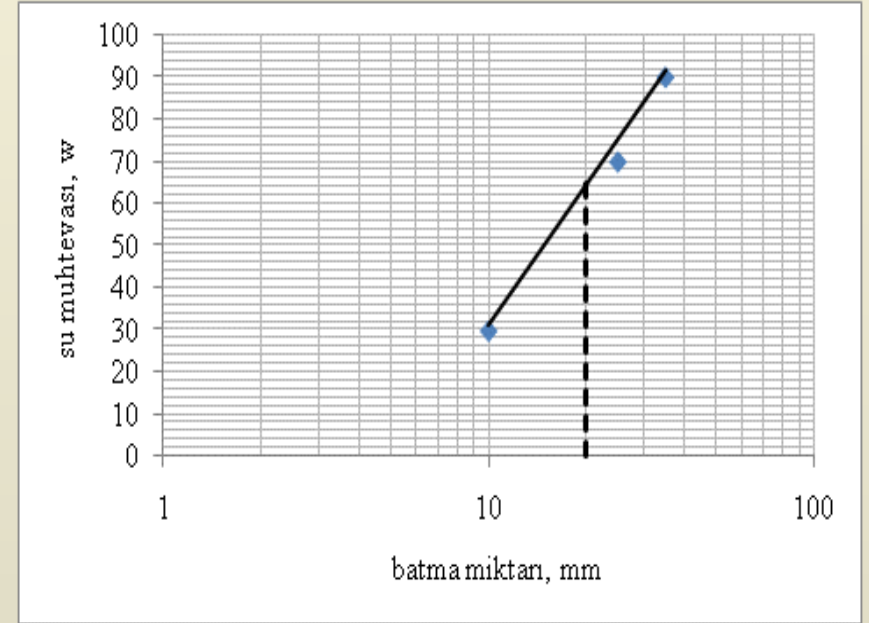
Düşen Koni Deney Aleti
5 s içinde oluşan batma miktarı

Likit Limit Deneyi



LL, 25 vuruşa karşılık gelen su muhtevasıdır.

Casagrande Likit Limit Deneyi



LL, 20 mm'lik batmaya gelen su muhtevasıdır.

Düşen Koni Deney Aleti

Plastik Limit Deneyi



Plastik Limit, 3 mm'ye kadar inceltilen bir zemin numunesinin kopmaya ve dağılmaya başladığı su muhtevasıdır.

Operatöre bağılı bir deneydir.

Kıvam Limitleri-Tipik değerler

Kil minerali	Likit Limit , %	Plastik Limit , %
Montmorillonit	700	55
Montmorillonit	660	98
Montmorillonit	290	75
İllit	120	53
Kaolin	52	31
Kaolin	38	27

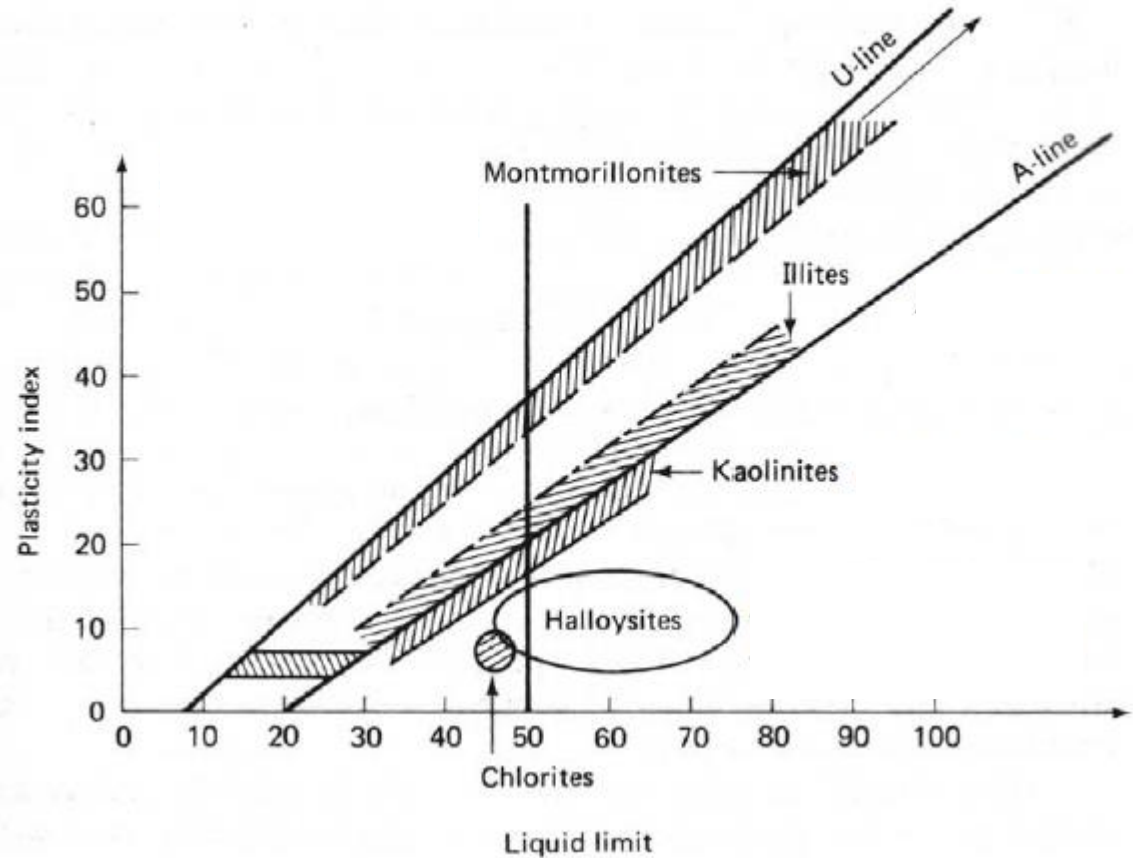


Plastisite Kartı (Casagrande Kartı)- A Kartı

Casagrande Kartı

ince daneli
zeminlerin
minerolojileri
hakkında fikir
verir.

Bu kartı zemin
sınıflandırması
için de
kullanacağız!



Zemin sınıflandırması

Amaç:

Ortak bir dil geliştirmek,

1910'lardan günümüze bilgi alışverişinin
kolaylaştırmak

Olası mühendislik özelliklerini, hatta mekanik davranış
ile ilgili hızlı bir fikir vermek

Zemin sınıflandırması sistemleri

1. USCS-Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi
2. AASHTO- Amerikan Karayolları Sınıflandırma Sistemi

Bu sistemlerde “Zemin Sınıfı” dane çapı dağılımı ve kıvam limitlerine bağlı olarak bulunur.

İnce daneler için Plastisite Kartı kullanılır.

USCS-Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi

Zeminler iki harf ile sınıflandırılır.

Özel durumlarda çift sembol kullanılır.

1. No. 200 elekten geçen yüzde
2. İri bölümün No.4 elek üzerinde kalan kısmı
3. Dane çapı dağılımı, C_u ve C_c
4. Kıvam Limitleri ve **Plastisite Kartı**
5. Organik içerik

200 nolu elekten geçen yüzde $< \%50$ ise İRİ DANELİ ZEMİN !

200 nolu elekten geçen yüzde $> \%50$ ise İNCE DANELİ ZEMİN !

USCS-Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi

İlk harf	Tanım	İkinci harf	Tanım
G	Çakıl	W	İyi derecelenmiş
S	Kum	P	Kötü derecelenmiş
C	Kil	H	Yüksek plastiseli
M	Silt	L	Düşük plastiseli
O	Organik		

GW İYİ DERECELENMİŞ ÇAKIL , **SP** - KÖTÜ DERECELENMİŞ KUM

GW-GM İYİ DERECELENMİŞ ÇAKIL-SİLTİ ÇAKIL

SP-SC KÖTÜ DERECELENMİŞ KUM – KİLLİ KUM

CH YÜKSEK PLASTİSELİ KİL

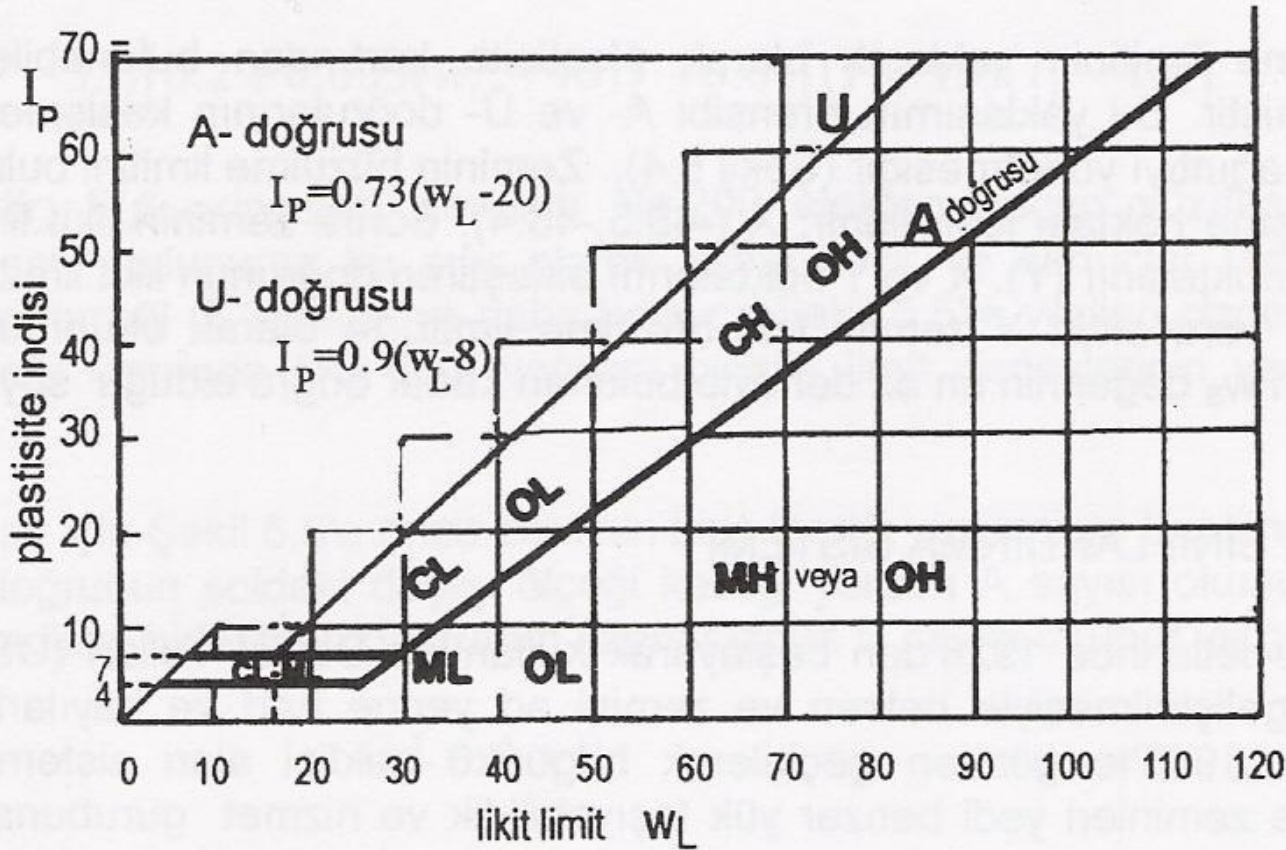
OH – ORGANİK KİL – ORGANİK SİLT

Organik killi, siltli zemin, turba

- ▶ Organik killi, siltli zemin : ana özelliklerini etkileyecek ölçüde organik içeriğe sahip,
- ▶ Çok yüksek sıcaklığa sahip fırınlarda yakıldığında kütle kaybı oluşur...
- ▶ Turba; organik kokulu, rengi kahverengi-siyah, kıvamı süngerimsi, lifli organik malzeme



Plastisite Kartı- Casagrande Kartı-A Kartı



LL=%50

LL=%35

TS'ye göre

Yüksek-orta
ve düşük
plastisiteli
zeminler

Şekil 5.2 Casagrande Plastisite Kartı

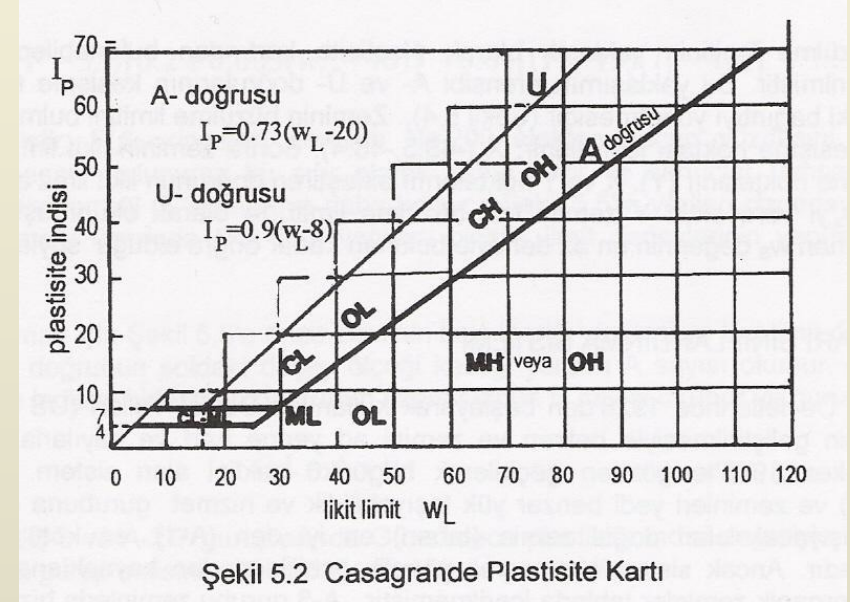
USCS-İnce daneli zeminler

- No. 200'den geçen yüzde >%50 ise zemin ince danelidir.

İnce daneli zeminlerin sınıflandırması ile Plastisite Kartı kullanılarak yapılır.

LL ve PI değerine bağlı olarak sınıflandırma yapılır.

A hattı üzerindeki kil (C), altındakiler ise silt (M)' dir.



Likit Limit > %50 ise, yüksek plastiseli, LL < %50 ise düşük plastiselidir.

Organik zeminler (O) ve turba (Pt) koyu renkli, kokuludur.

İri daneli zeminler

1. No. 200'den geçen zemin yüzdesi $< \%50$ ise iri daneli zemindir.
2. No. 200'den geçen zemin yüzdesi $< \%5$ ise GW, GP, SW, SP
3. No. 200'den geçen zemin yüzdesi $\%5 - \%12$ ise zemin GW-GC, GW-GM, GP-GC, GP-GM, SW-SC, SW-SM, SP-SC, SP-SM den birisidir.
4. No. 200'den geçen zemin yüzdesi $> \%12$ ise GC, GM, SC, SM'dir.

İri daneli zeminler – ince oranı $< \%5$

1. No. 200'den geçen zemin yüzdesi $< \%50$ ise iri daneli zemindir.
2. No. 200'den geçen zemin yüzdesi $< \%5$ ise,
3. Zemin sadece derecelenmesine göre sınıflandırılır, **ÇÜNKÜ İNCE DANELER SINIFI VE DAVRANIŞI ETKİLEMEYECEK KADAR AZDIR.**
4. Bir sonraki aşamada 4 nolu eleğe bakılır.
5. İri danelerin yarısından çoğu çakıl ise, GW veya GP'dir.
6. İri danelerin yarısından çoğu kum ise, SW veya SP'dir.

İri daneli zeminler – ince oranı $< \%5$

7. Son aşamada C_u ve C_c değerlerine bakılır ve “W, iyi derecelenmiş” veya “P, kötü derecelenmiş” olarak bulunur.

Çakıl için $C_u > 4$ ve $1 < C_c < 3$

iyi derecelenmiş, aksi taktirde kötü derecelenmiş

Kum için $C_u > 6$ ve $1 < C_c < 3$

iyi derecelenmiş, aksi taktirde kötü derecelenmiş

8. Zemin GW, GP, SW, SP dan birisidir.

İri daneli zeminler – ince oranı $> \%12$

1. No. 200'den geçen zemin yüzdesi $< \%50$ ise iri daneli zemindir.
2. No. 200'den geçen zemin yüzdesi $> \%12$ ise,
3. **İNCE DANELER SINIFI VE DAVRANIŞI ETKİLEYECEK KADAR ÇOKTUR.**
4. İri danelerin yüzdelere bakarak kum veya çakıl olduğu bulunur.
5. Zemin GC, GM, SP, SM den birisidir. C-M ayrımı için Plastisite Kartı'na bakılır.
6. Plastisite Kartı'ndaki konuma göre zemin GC, GM, SM, SC olarak sınıflandırılır.

İri daneli zeminler – ince oranı $< \%5$ - $\%12$

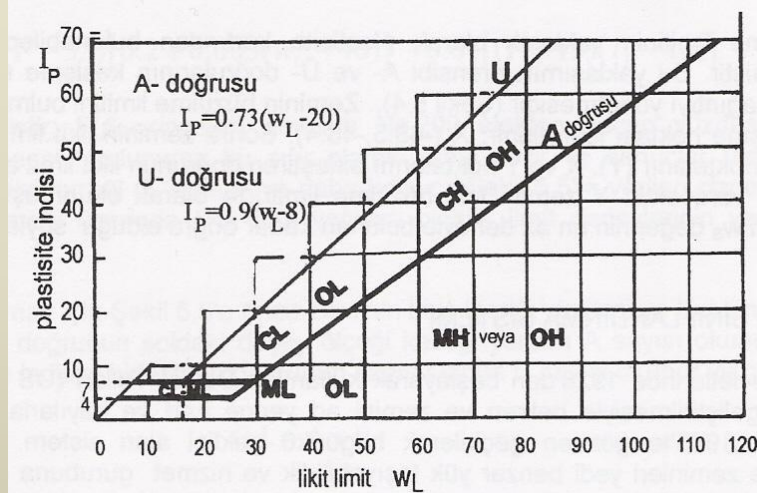
1. No. 200'den geçen zemin yüzdesi $< \%50$ ise iri daneli zemindir.
2. No. 200'den geçen zemin yüzdesi $\%5$ - $\%12$ ise iki sembol ile gösterilir, **ÇÜNKÜ HEM DANE ÇAPI DAĞILIMI HEM DE İNCE DANELER SINIFI VE DAVRANIŞI ETKİLEMEKTEDİR.**
3. Hem elek analizi sonuçları, hem de Plastisite Kartı kullanılır.
4. Zemin GW-GC, GW-GM, GP-GC, GP-GM, SW-SC, SW-SM, SP-SC, SP-SM den birisidir.

Çift simge gerektiren durumlar

No. 200'den geçen yüzdesi %5-%12 arasında olan iri daneli zeminler

Plastisite Kartındaki taralı bölgedeki ince daneli zeminler

Likit Limit %50 civarında olan ince daneli zeminler



Şekil 5.2 Casagrande Plastisite Kartı

İki örnek

1. No. 200'den geçen %60

LL= %65, PL=%20, PI=45 Zemin sınıfı?

2. No. 200 den geçen %30

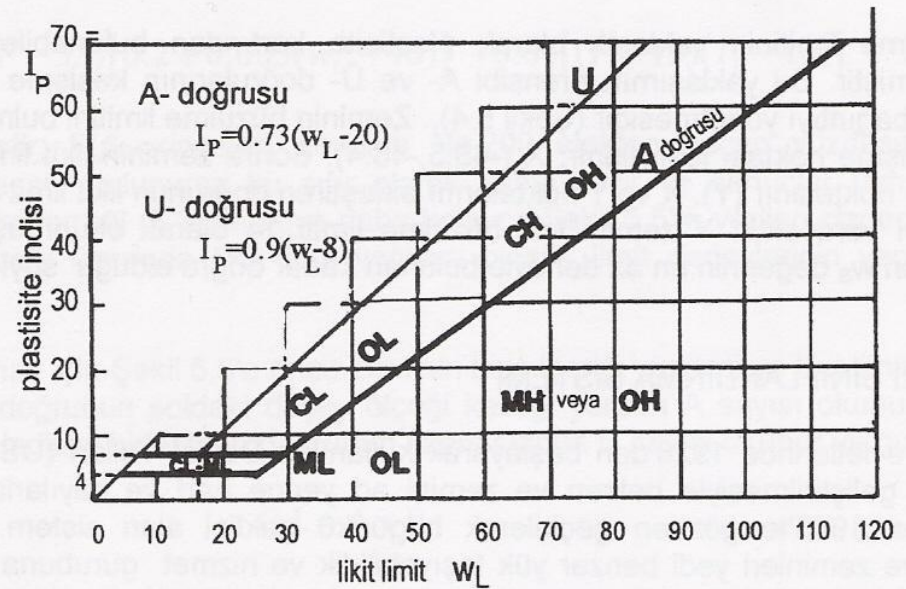
No.4'ten geçen % 80

$C_u=10$, $C_c=4$

LL=%43, PI=25

% çakıl, kum, silt ve kil?

Zemin sınıfı?



Şekil 5.2 Casagrande Plastisite Kartı

AASHTO- Amerikan Karayolları Sınıflandırma Sistemi

Geliştirilme amacı, yol üstyapısı tasarımına hizmet etmeye yöneliktir.

Bu sınıflandırma sisteminde zemin bir harf ve bir sayı ile tanımlanır.

AASHTO'ya göre No. 200'den geçen yüzde >35 ise zemin ince daneli, <35 ise iri danelidir.

A-1'den A-7'ye kadar YEDİ ana grup vardır.

Ayrıca alt gruplar mevcuttur. A-1-a, A-7-5, A-2-7 gibi

Tabloda soldan sağa doğru ilerlerken uygun olan ilk sınıf alınır.



AASHTO- Amerikan Karayolları Sınıflandırma Sistemi

KARAYOLLARI ZEMİN SINIFLANDIRMASI (AASHTO)

GENEL SINIFLANDIRMA	Daneli malzemeler (% 35 veya daha az No. 200 geçen)							Silt-kil malzemeler (% 35 den fazla No.200 geçen)			
GURUP SINIFLANDIRMASI	A-1		A-3 ¹	A - 2				A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5 A-7-6
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7				
ELEK ANALİZİ											
Yüzde geçen											
NO: 10	50 Max	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NO: 40	30 Max	50 Max	51 Min	-	-	-	-	-	-	-	-
No: 200	15 Max	25 Max	10 Max	35 Max	35 Max	35 Max	35 Max	36 Min	36 Min	36 Min	36 Min
No: 40 altına geçen kısmın özellikleri											
Likit Limit	-	-	-	40 Max	41 Min	40 Max	41 Min	40 Max	41 Min	40 Max	41 Min
Plâstisite İndisi	6 max		NP	10 Max	10 Max	11 Min	11 Min	10 Max	10 Max	11 Min	11 Min
Gurup İndisi	0	0	0	0	0	4 Max	4max	8 Max	12 Max	16 Max	20 Max
Ana malzemenin ekseriya görülen tipleri	Taş parçaları çakıl ve kum		İnce kum	Siltli veya Killi çakıl ve kum				Siltli zeminler		Killi zeminler	
Taban olarak genel Değerlendirme	Fevkalâde ilâ iyi							Orta ilâ kötü			

1. A-3 ün A-2 den önce konulması "soldan sağa eleme işlemi" için gereklidir ve A-3 ün A-2 den üstün olduğunu belirtmez.
2. A-7-5 ara gurubunun plastisite indisi ($W_L - 30$) a eşit veya azdır. A-7-6 ara gurubundaki ($W_L - 30$)dan fazladır.

Zemin sınıfları – Zemin özellikleri-Örnekler

GW, Sıkıştırıldığında geçirgen, doygun durumda ÇOK YÜKSEK mukavemete sahip, ÇOK DÜŞÜK sıkışabilirlik özelliği, şişme sorunu yok.

Temel altı dolgusu, karayolu dolgusu için uygun, drenaja ihtiyaç duyulan yerlerde de kullanılabilir.

GC, Sıkıştırıldığında geçirgen DEĞİL, doygun durumda ORTA seviyede mukavemete sahip, DÜŞÜK sıkışabilirlik özelliği

Drenaj gereken yerler için uygun değil

Zemin sınıfları – Zemin özellikleri-Örnekler



CH, Sıkıştırıldığında geçirimsiz, doygun durumda DÜŞÜK mukavemete sahip, ÇOK YÜKSEK sıkışabilirlik özelliği, şişme sorunu var.



Geçirimsizlik gereken dolgular için örneğin çöp depolama sahaları için uygun

Temel altı dolgusu, karayolu dolgusu için uygun değil

Yapı altında mevcut ise oturma ve şişme sorunları beklenir.

Zemin sınıfları – Zemin özellikleri-Örnekler



OH, Sıkıştırıldığında geçirimsiz, doygun durumda **ÇOK DÜŞÜK** mukavemete sahip, **ÇOK YÜKSEK** sıkışabilirlik özelliği-

Temeller bu zemin üzerine oturtulmamalı

Dolgu malzemesi olarak kullanılmamalı

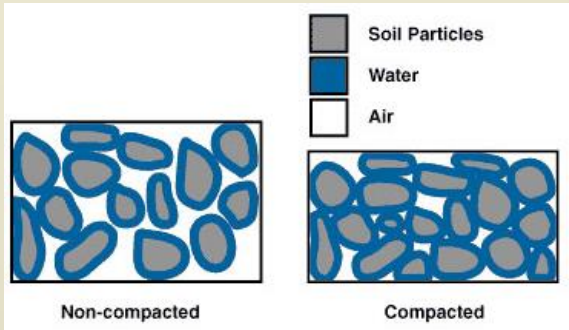
Zemin sınıfları – Zemin özellikleri- örnek değerler

Zemin Sınıfı	Kuru birim hacim ağırlık (kN/m ³)	Optimum su muhtevası, %	ϕ'	k (cm/s)
GW	19.6-21.2	8-11	>38	0.03
GP	18.1-19.6	11-14	>37	0.05
GC	18.1-20.4	9-14	>31	$>5 \cdot 10^{-8}$
ML	14.9-18.9	12-24	32	$>5 \cdot 10^{-6}$
CH	11.8-16.5	19-36	19	$>5 \cdot 10^{-8}$
SP	15.7-18.9	12-21	37	$>5 \cdot 10^{-4}$
OH	10.2-15.7	21-45		



Kompaksiyon

Zeminlerin dolgu malzemesi olarak kullanılması gereken durumlarda zeminlerin kompaksiyon özelliklerinin bilinmesi gerekir.



Kayma direnci artar, sıkışabilirlik azalır, sıvılaşma riski azalır, geçirimsizlik düşer, vb..

İyileştirme sağlanır.



Kompaksiyon

Laboratuvarda Proctor'un geliştirdiği darbeli sıkıştırma deneyi ile sıkıştırma özellikleri belirlenir. Farklı su muhtevalarında elde edilen maksimum kuru birim hacim ağırlık değerı ölçölür.



Belirli bir enerji ile sıkıştırma yapılır.

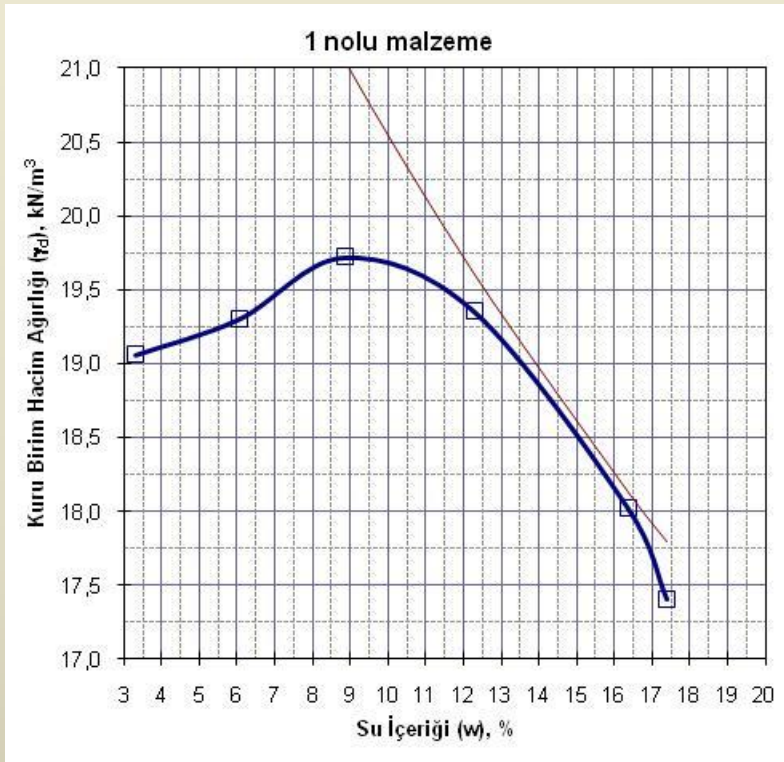
Tokmak ağırlığı, düşüş yüksekliği, kalıp hacmi, tabaka sayısı ve her tabakaya yapılan vuruş sabit

Standart Proktor

Modifiye Proktor (Beř kat fazla enerji)

Kompaksiyon

Deney sonucunda $w-\gamma_d$ grafiği elde edilir.



Belirli bir enerji seviyesi için

“maksimum kuru birim hacim ağırlığın” $\gamma_{d, maks}$

elde edildiği su muhtevasına

“Optimum su muhtevası”
denir. w_{opt}

Kompaksiyon

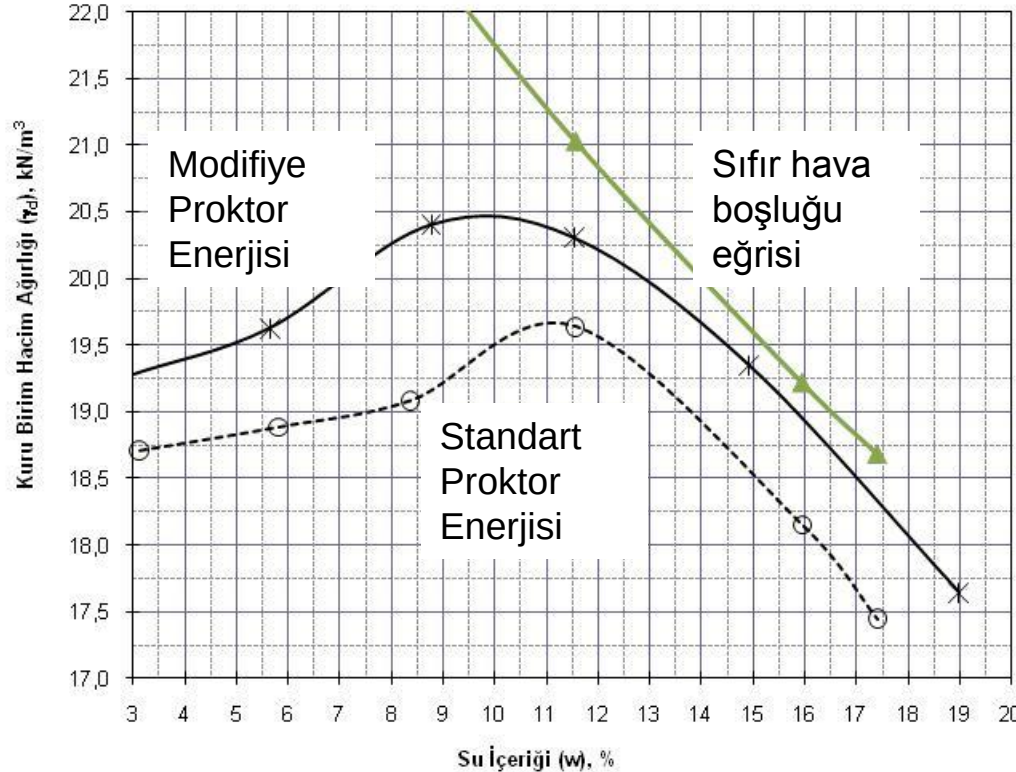


Farklı zemin sınıfları

Farklı sıkışma eğrileri !!

Kompaksiyon

Enerji seviyesi eğrinin yerini belirler.



Kuru birim hacim ağırlık için alt, su muhtevası için alt ve üst sınırlar belirlenmelidir.

Örnek:

Arazideki γ_d minimum $0.98\gamma_{d,maks}$ ve

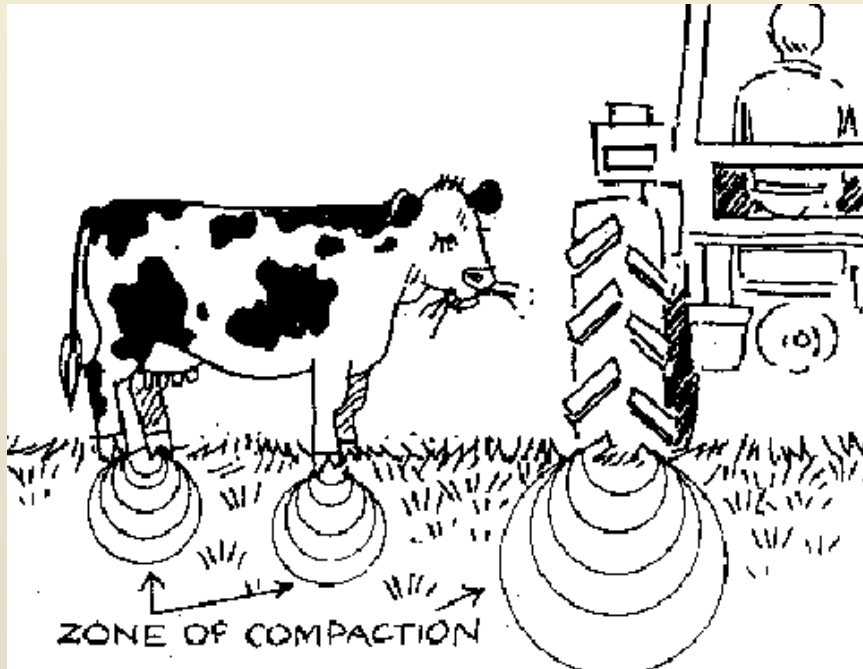
Arazideki su muhtevası

$w_{opt}-2$ ve $w_{opt}+2$ arasında olmalıdır.

Arazide kompaksiyon MUHAKKAK kontrollü olmalıdır. (kum konisi, nükleer yöntem, vb.)

Enerji seviyesi arttıkça eğri sola ve yukarı kayar!!

Arazide kompaksiyon



Kompaksiyon

Sıkıştırma su muhtevası zemin özelliklerini etkiler!!!

Islak taraftaki permeabilite < Kuru taraftaki permeabilite

Islak taraftaki şişme < Kuru taraftaki şişme

Islak taraftaki mukavemet < Kuru taraftaki mukavemet

Sıkıştırma su muhtevası bunlara bağlı olarak seçilmelidir!!!!

Soru: Geçirimsiz bir kil kaplama için arazideki sıkıştırma için su muhtevası nasıl seçilmelidir?



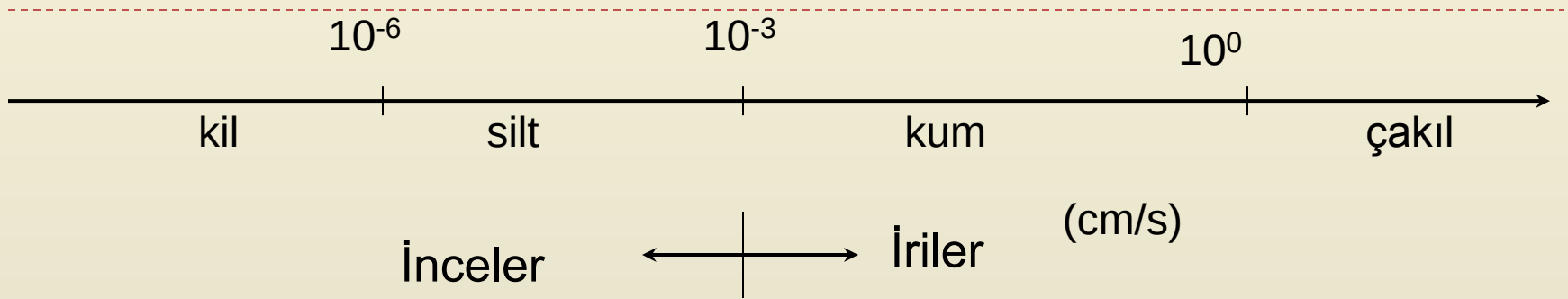
Permeabilite

Permeabilite (k), zeminin içerisinde akım olmasını sağlayan bir özelliğidir.

Permeabilite zeminin pek çok özelliğinden etkilenir, granülometri, boşluk oranı, yapısı, kıvam limitleri, vb..

İnce daneli zeminlerde, permeabilitenin iri daneli zeminlere nazaran daha düşük olması beklenir.

Permeabilite

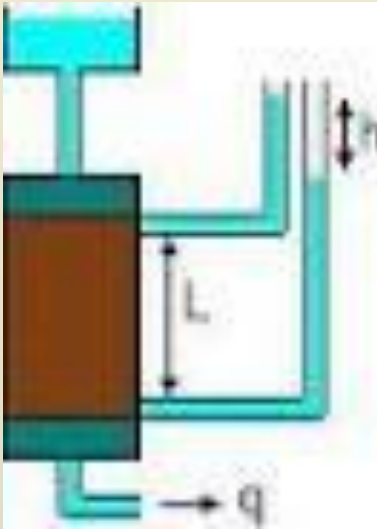


İnce daneler ile drenaj sorunu oluşur. **CH**, CL, SC, GC, MH

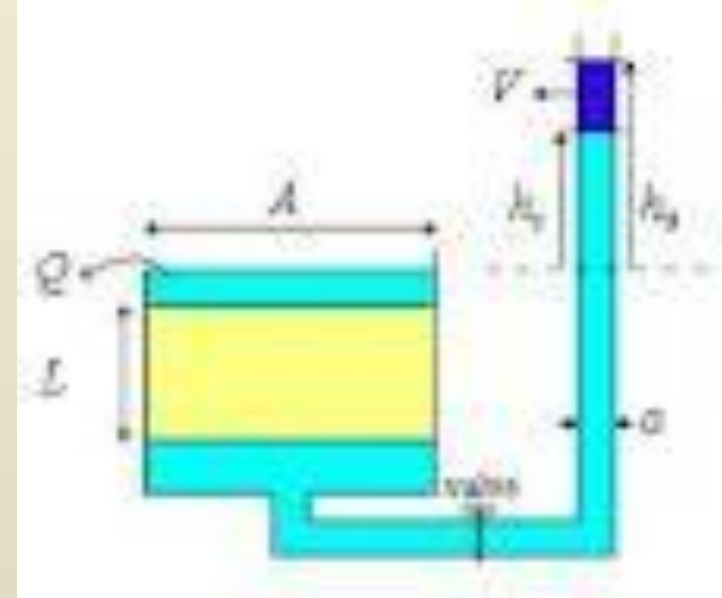
İri daneli zeminler drenaj için daha uygundur. SW, GW, **GP**

İri daneli zeminler için
 $k=100 \cdot (D_{10})^2$ gibi bağıntılar mevcuttur.

Permeabilite



İri daneli zeminler için sabit seviyeli permeametre



İnce daneli zeminler için düşen seviyeli permeametre

Araziden alınan bir numunedeki oluşan örselenme

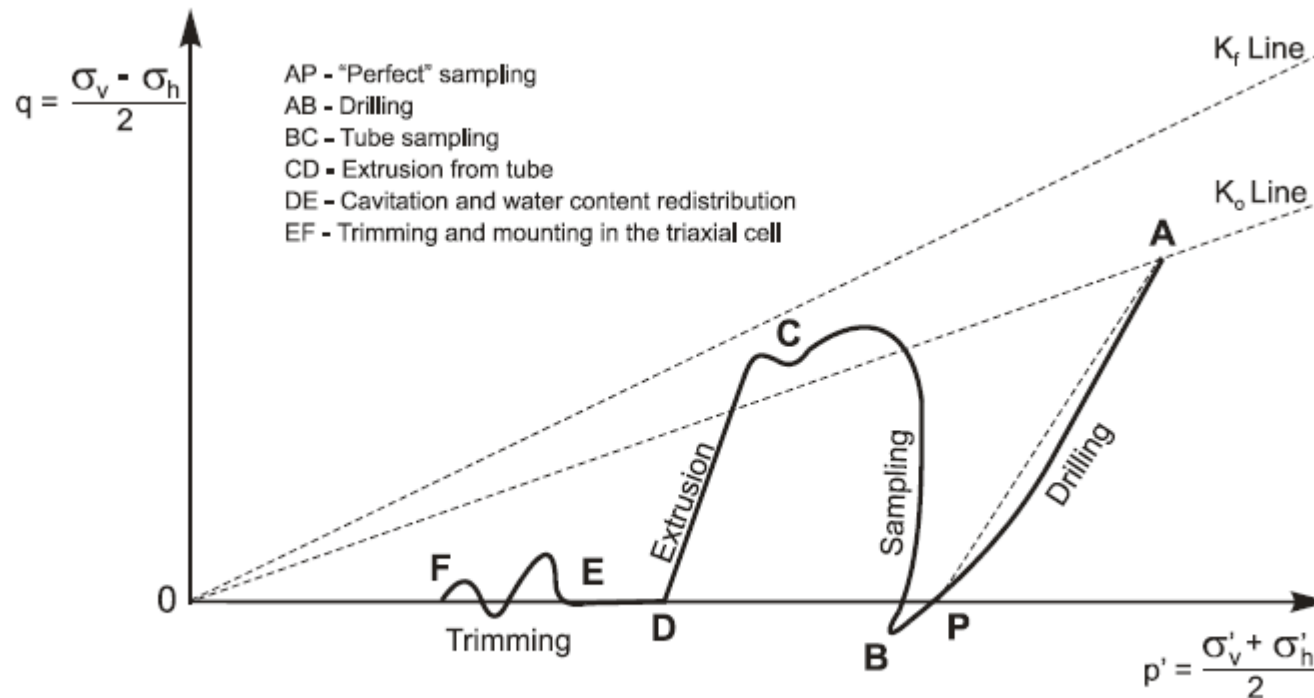
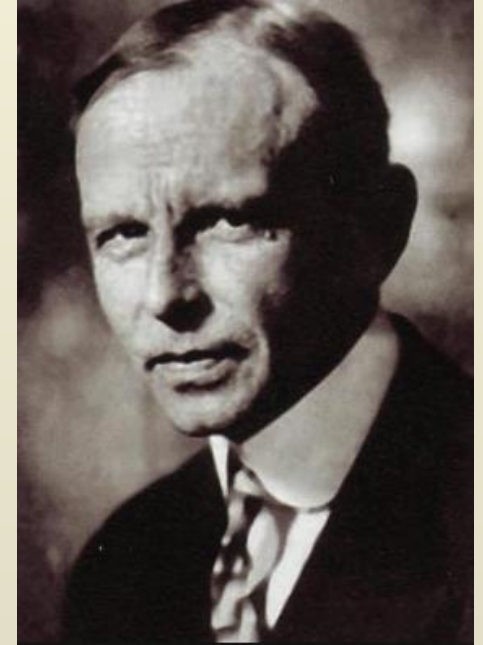


Figure 22. Disturbance during sampling and trimming (after Ladd and Lambe, 1963).



Zeminlerin konsolidasyonu

$$c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t}$$



Karl Terzaghi “Bir boyutlu konsolidasyon teorisi”ne dayanarak

İnce daneli zeminlerde gerilme artışı ile başlayıp, uzun zamana yayılan **oturmaların miktarı ve seyri** tahmin edilebilmektedir.

Konsolidasyon

Konsolidasyon teorisine göre doygun ince daneli zeminlerde, gerilme artışı ile

1. boşluk suyu basıncı yükselir, ($\Delta u \uparrow$)
2. ama permeabilite düşük olduğu için Δu hemen dağılamaz.
3. zaman içerisinde su ortamdan uzaklaşır ve böylece ilave boşuk suyu basıncı sönümlenir, ($\Delta u \approx 0$)
4. Bu süreçte efektif gerilmeler sürekli olarak artar, yani gerilmeler zemin tarafından taşınır. ($\sigma' \uparrow$)
5. Buna bağlı olarak oturmalar oluşur.

Konsolidasyon oturması hesapları

$$\Delta H = \frac{\Delta e}{1 + e_0} H$$

$$\Delta H = m_v * \Delta \sigma * H$$

$$\Delta H = \frac{C_r H}{1 + e_0} \log\left(\frac{\sigma_2'}{\sigma_1'}\right)$$

$$\Delta H = \frac{C_c H}{1 + e_0} \log\left(\frac{\sigma_2'}{\sigma_1'}\right)$$

Gerilme artışı

Başlangıç efektif gerilmesi

Gerilme geçmişi

Kil tabakasının kalınlığı

C_c , C_r ..

$$S_{c,1D} = \frac{C_r}{1 + e_0} H \log\left(\frac{\sigma_c'}{\sigma_{v,o}'}\right) + \frac{C_c}{1 + e_0} H \log\left(\frac{\sigma_{v,f}'}{\sigma_c'}\right)$$

Konsolidasyon deneyi



Örselenmemiş numune ile yapılır.

Numune çapı genellikle 50 mm, yüksekliği 20 mm'dir.

Deney süresince numune doygun olabilmesi için su içerisinde.

Konsolidasyon deneyi

Gerilme altındaki oturma davranışı inceleniyor.

Deneyde numune kademeli olarak yüklenir.

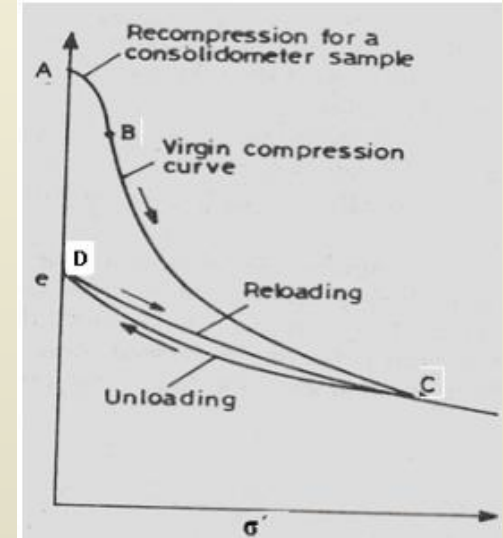
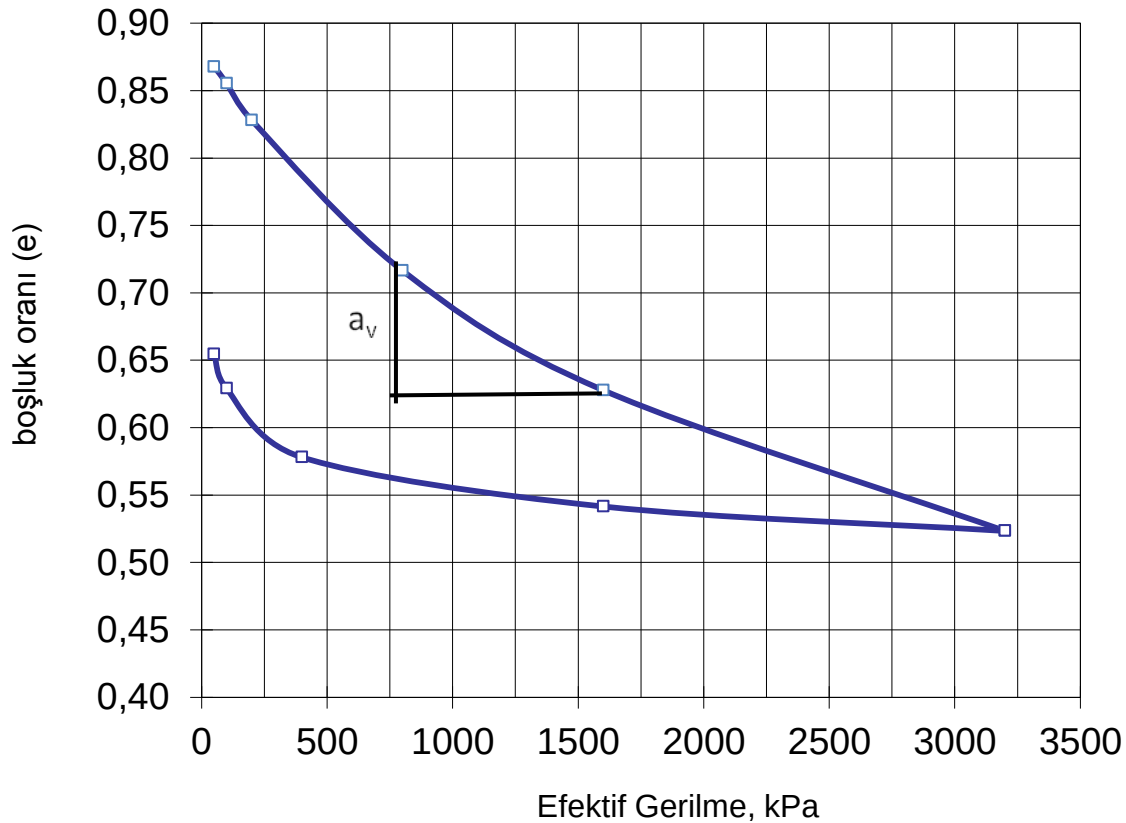
Uygulanan gerilme değerleri 25, 50, 100, 200, 400, 800, 1600, 3200 kN/m² dir.

Her adımda, adımın başlangıcından itibaren belli süreler sonunda oturma değerleri deformasyon saatleri ile belirlenir. (15 s, 30 s, 1 dk, 2 dk, 4 dk, 8 dk, 15 dk, 30 dk, 1 s, 2 s, 4 s, 8 s, 16 s ve 24 s)

Her adımda oturma sona erene kadar (genellikle 24 saat) beklenir. Yükleme bittikten sonra boşaltma yapılır.

Boşaltmada aynı işlemler tekrarlanır. (10-15 gün)

Konsolidasyon deneyi



$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_0}$$

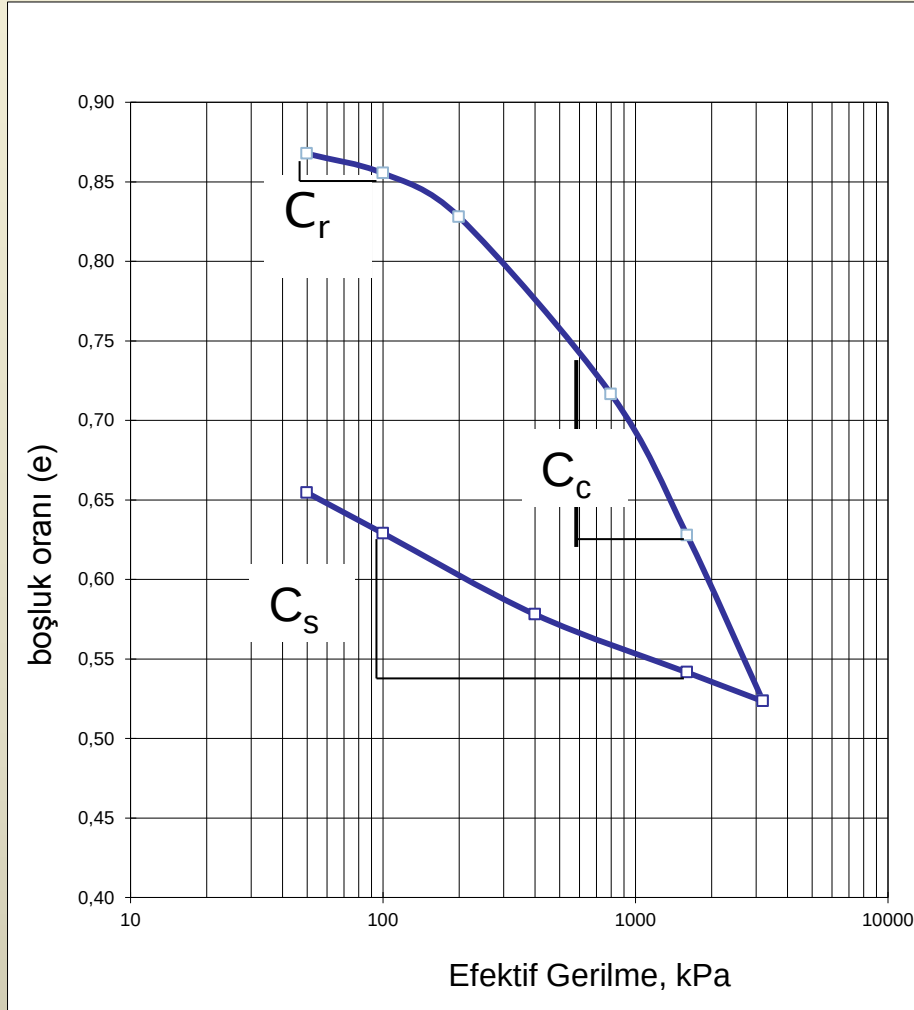
m_v : hacimsal sıkışma katsayısı

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta p}$$

a_v : Sıkışma katsayısı



Konsolidasyon eğrisi



C_c : Sıkışma indisi

C_r : Yeniden sıkışma indisi

C_s : kabarma indisi

$$C_c = \frac{\Delta e}{\log \frac{p_2'}{p_1'}}$$

Aşırı konsolidasyon oranı ve aşırı konsolide zeminler

“Önkonsolidasyon basıncı zeminin daha önce yüklendiği en büyük gerilme değeridir.”

Üstteki katmanların kalkmış olması, erozyon, vb

Yeraltı su seviyesindeki değişimler

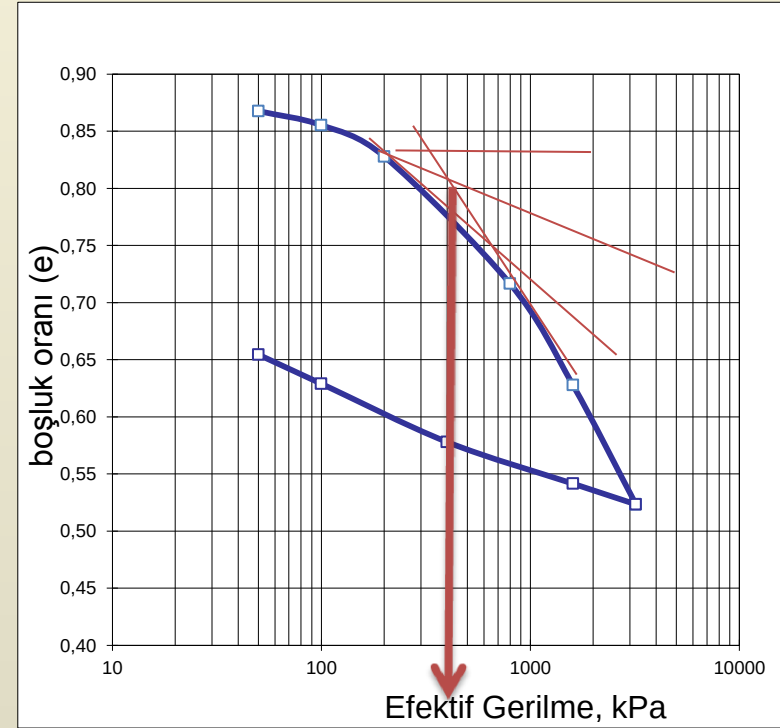
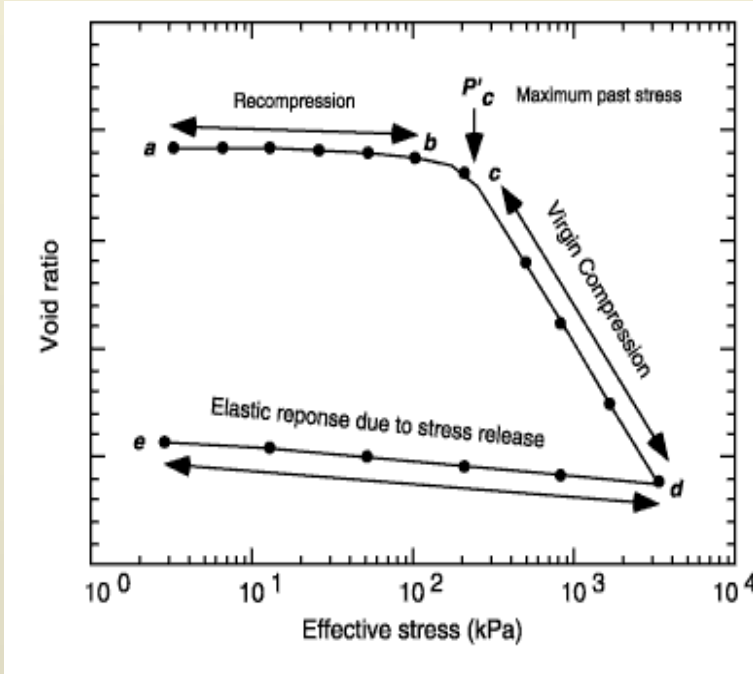
Yaşlanma sonucu kil yapısındaki değişme

Çevresel koşullarda değişim

Kimyasal etkiler, ayrışma-yıpranma, çökelme, çimentolaşma

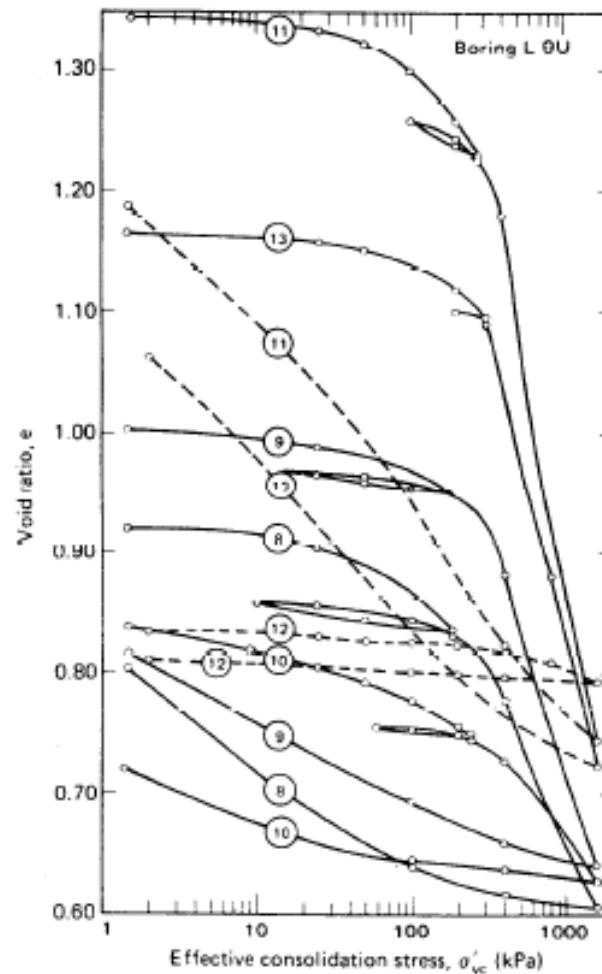
AKO= ön konsolidasyon basıncı / mevcut efektif gerilme

Önkonsolidasyon basıncının bulunması



Bir zeminin daha önce yüklendiği en büyük gerilme değeridir... “HAFIZA”

Önkonsolidasyon basıncının bulunması, (σ'_c),
Casagrande Yöntemi



Test No.	Elev. (m)	Classification	Atterberg Limits			w_n (%)	e_o	σ'_{vc} (kPa)	σ'_p (kPa)	C_c
			LL	PL	PI					
8	-8.8	CL-clay, soft	41	24	17	34.0	0.94	160	200	0.34
9	-9.8	CL-clay, firm	50	23	27	36.4	1.00	170	250	0.44
10	-17.1	ML-sandy silt	31	25	6	29.8	0.83	230	350	0.16
11	-20.1	CH-clay, soft	81	25	56	50.6	1.35	280	350	0.84
12	-23.2	SP-sand	Nonplastic			27.8	0.83	320	—	—
13	-26.2	CH-clay w/silt strata	71	28	43	43.3	1.17	340	290	0.52

(a)

Konsolidasyon-elde edilen parametreler

- ▶ C_c ve C_r değerinin LL değeri ile doğru orantılı olarak artması beklenir.
- ▶ C_r değerlerinin C_c 'nin $1/5 - 1/10$ u arasında olması beklenir.
- ▶ $C_r \approx C_s$
- ▶ Yani yüksek likit limit, yüksek oturma potansiyeli ve yüksek kabarma potansiyeli demektir!

Equation	Applicable Soils
$C_c = 0.009 (LL - 10)$	Undisturbed clays of low to medium sensitivity
$C_c = 0.007 (LL - 7)$	Remolded clays
$C_c = 0.01 w_n$	Chicago clays

- ▶ Önkonsolidasyon basıncının büyüklüğü önemli!!
- ▶ Organik içeriği yüksek olan ve yüksek plastiseli zeminlerde ikincil konsolidasyon oturmaları da önemlidir !!!

Örselenmenin etkileri

- ▶ Numuneler araziden laboratuvara gelirken örselendiği için önkonsolidasyon basıncını belirlemek zor olabilmektedir.
- ▶ Ayrıca sıkışma indisi (C_c) düşmektedir.
- ▶ Düzeltme yapılması önerilir. (Schmertmann tarafından verilen düzeltme)

Oturma-Zaman İlişkisi

- ▶ Konsolidasyon –zaman ilişkisi için gerekli olan parametre c_v 'dir. (Konsolidasyon katsayısı)

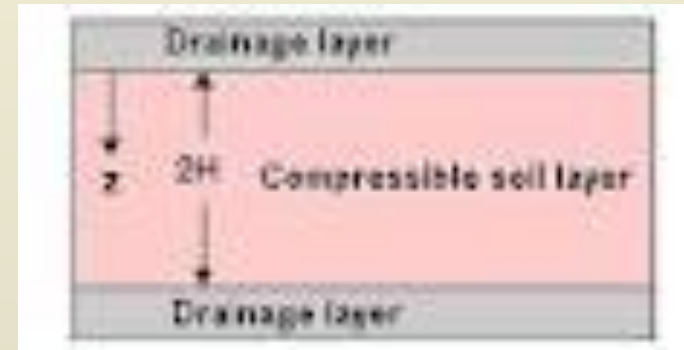
- ▶
$$c_v \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} = \frac{\partial u}{\partial t} \qquad c_v = \frac{k}{m_v \gamma_w}$$

- ▶ *Konsolidasyon deneyi süresince yükleme aşamalarında 24 saat süre ile okuma alınır.*
- ▶ *Logaritma zaman ve kök zaman yöntemleri ile c_v bulunur.*

Oturma-Zaman İlişkisi

- ▶ Aynı T değeri (konsolidasyon yüzdesi) için konsolidasyon süresi (t) ve c_v değeri ters orantılıdır.

$$T = \frac{c_v t}{H_{dr}^2}$$



- ▶ Arazideki drenaj boyuna ve c_v değerine bağlı olarak oturmanın tamamlanması yıllar sürebilir.
- ▶ Drenaj boyu azaldıkça oturmalar daha kısa süre içerisinde tamamlanır.

Soru:

Oturmayı hızlandırmak için ne yapılabilir?

Şişme basıncı ve şişme yüzdesi

Konsolidasyon deney aletinde düşük gerilmeler altında bırakılan numunelerde “şişme yüzdesi” ölçülebilir.

Şişmenin engellenmesi için gereken basınca “şişme basıncı” denir.

Yüksek plastiseli killerde düşük gerilmelerde şişmenin olması beklenir.

Önemli- Nelere dikkat edilmeli?

İnce daneli zeminlerde konsolidasyon oturmaları önemli mertebelere ulaşabilir.

Oturabilecek olan zeminler titizlikle belirlenmelidir!

Bu zemin tabakalarının kalınlıkları doğru olarak tanımlanmalıdır! (H)

Bu zeminlerden yeterli sayıda örselenmemiş numune alınmalı, konsolidasyon ve indeks deneyleri yapılmalıdır.

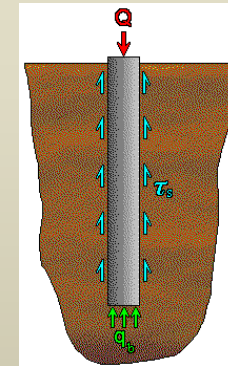
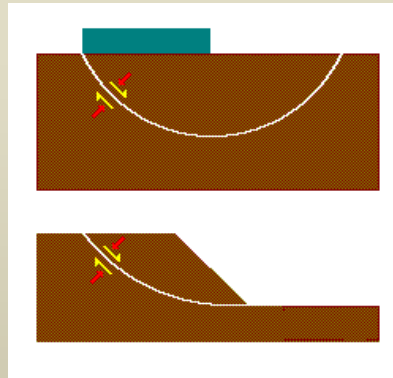
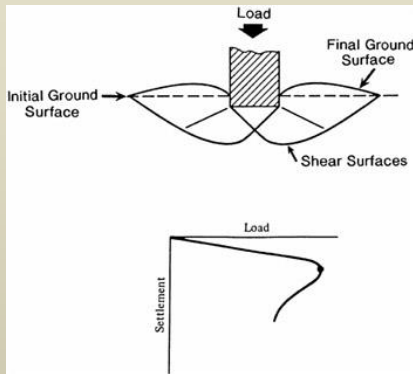
Önkonsolidasyon basıncının doğru tanımlanması önemlidir.

Zaman tahmininin doğru olabilmesi için drenaj koşulları iyi tanımlanmalı, kum bantları, mercekler vs. gözden kaçırılmamalıdır !

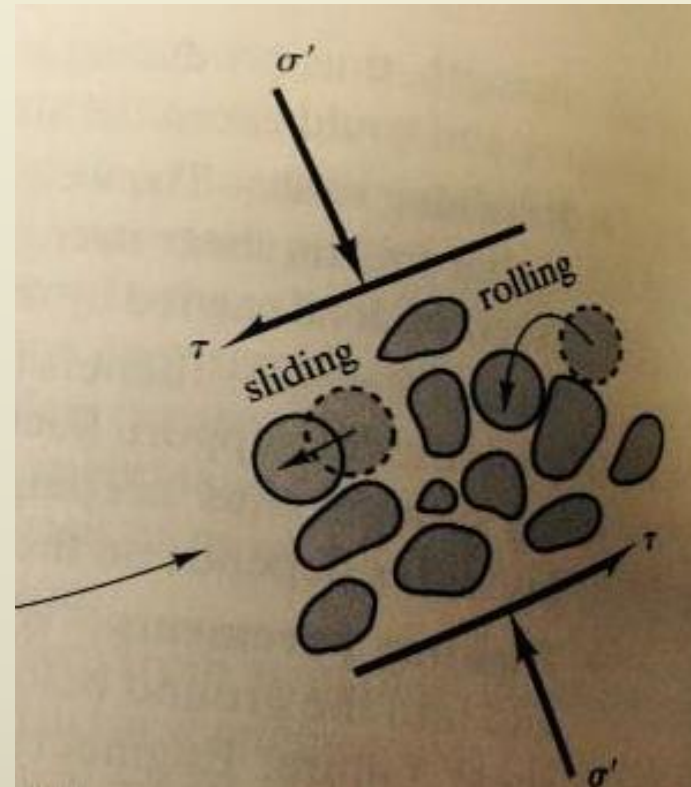
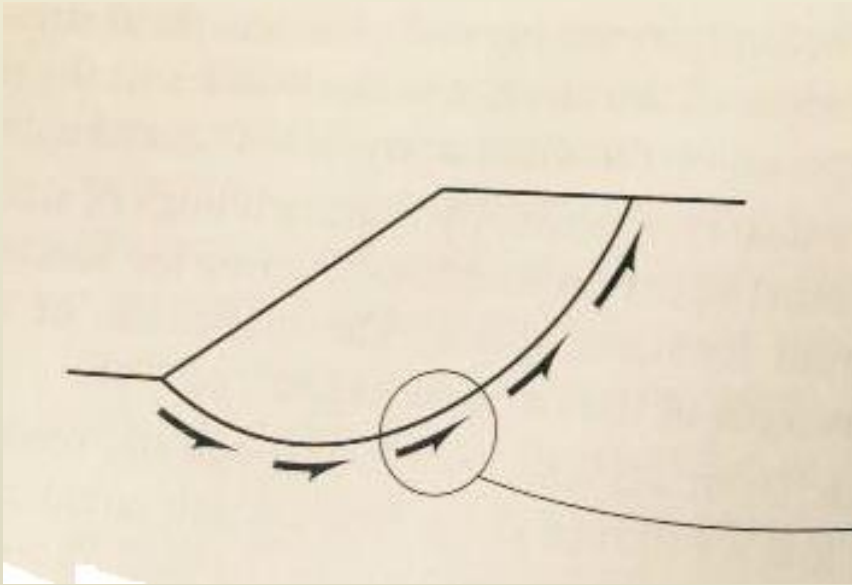
Kayma mukavemeti deneyleri

Arazide bir yapı temeli veya toprak dolgu altında kalacak, veya herhangi bir başka yüklemeye maruz kalacak zemin tabakalarının

- ▶ gerilme-şekil değiştirme davranışlarını ve
- ▶ kayma mukavemetlerini belirlemek büyük önem taşır.



Kayma mukavemeti..



Gerilme-şekil değiştirme ilişkisi

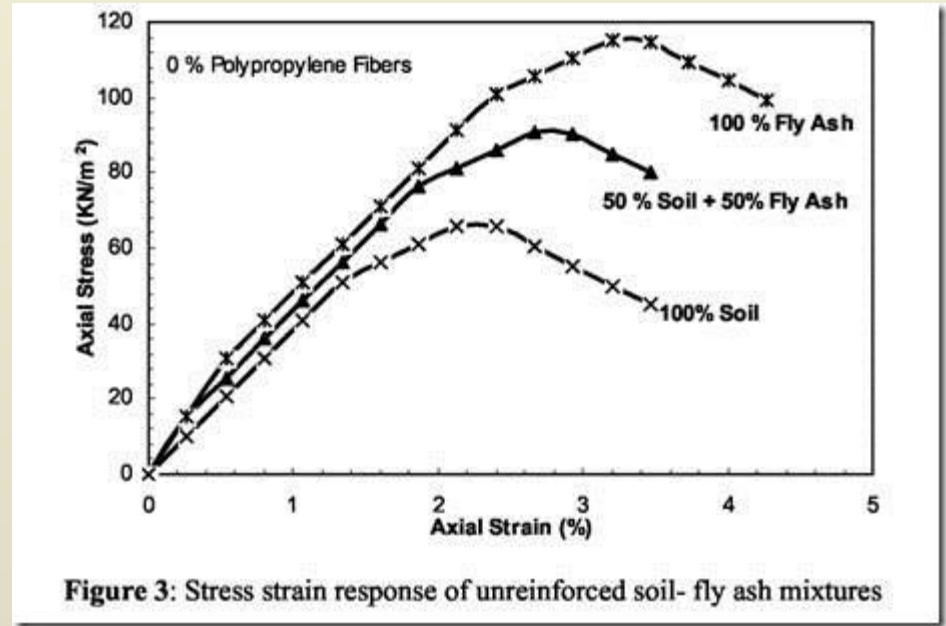
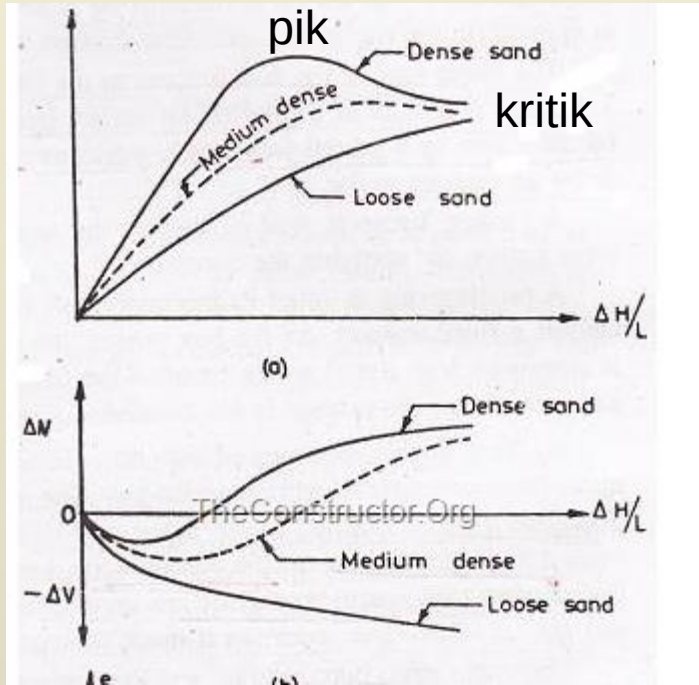


Figure 3: Stress strain response of unreinforced soil- fly ash mixtures

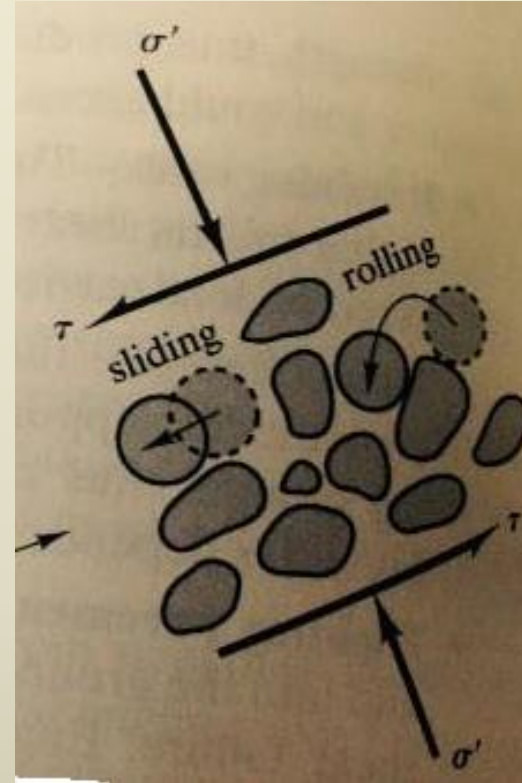
Sadece pik ve kritik mukavemet değerleri değil, gerilme-şekil değiştirme davranışı da çok önemlidir.

Zemin mukavemeti

- ▶ Daneler arasındaki interaksiyona dayanır.
- ▶ Zemindeki su ve hava fazları kayma mukavemetine katkı yapmaz..
- ▶ ANCAK..
- ▶ Danelerin interaksiyonunu etkileyip mukavemeti etkiler...

Zemin mukavemeti

- ▶ Mukavemet ; sürtünme ve kohezyona dayalı olarak oluşur.
- ▶ Sürtünme mukavemeti.. ϕ
- ▶ mineroloji,
- ▶ dane şekli,
- ▶ gradasyon,
- ▶ boşluk oranı,
- ▶ organik içerik..



Zemin mukavemeti

- ▶ Kohezyon... İki tip kohezyon mevcuttur.
- ▶ Gerçek ve görünen...
- ▶ Gerçek... Çimentolaşma... Küçük de olsa elektrostatik ve elektromanyetik çekimler, aşırı konsolidasyon nedeniyle oluşan kohezyon..
- ▶ Görünen.. Görünürde bağ sebebi ile oluştuğu düşünülen....Aslında efektif gerilme sebebi ile oluşan mukavemet.. Nemli kum..
- ▶ Negatif boşluk suyu basıncı, danelerin kenetlenmesi.. Örneğin sıkıştırılmış zeminler vs..
- ▶ **Eğer zaman içerisinde kaybolacak bir kohezyon ise, tasarımda ihmal edilmeli..**

Drenajlı ve drenajsız durum..

- ▶ Zemin yüklendiğinde oluşan ilave boşluk suyu basınçları efektif gerilmeyi etkilediği için mukavemet değerlerini de etkiler..
- ▶ İki uç durum.. Drenajlı ve drenajsız..
- ▶ Drenajlı durum.. İlave boşluk suyu kalmadığı durumlarda..
 - ▶ k yüksek, yükleme hızı yavaş, uzun dönem
 - ▶ Efektif gerilme...
- ▶ Drenajsız durum.. İlave boşluk suyu basınçları mevcut
 - ▶ k düşük, yükleme hızlı...kısa dönem
 - ▶ Toplam gerilme....

Kayma mukavemeti deneyleri

- ▶ Laboratuvarda örselenmemiş numuneler üzerinde veya uygun ise oluşturulmuş numuneler üzerinde kayma mukavemeti deneyleri yapılır.
- ▶ Serbest Basınç Deneyi
- ▶ Kesme Kutusu Deneyi
- ▶ Üç Eksenli Basınç Deneyi

Örselenmemiş numune.

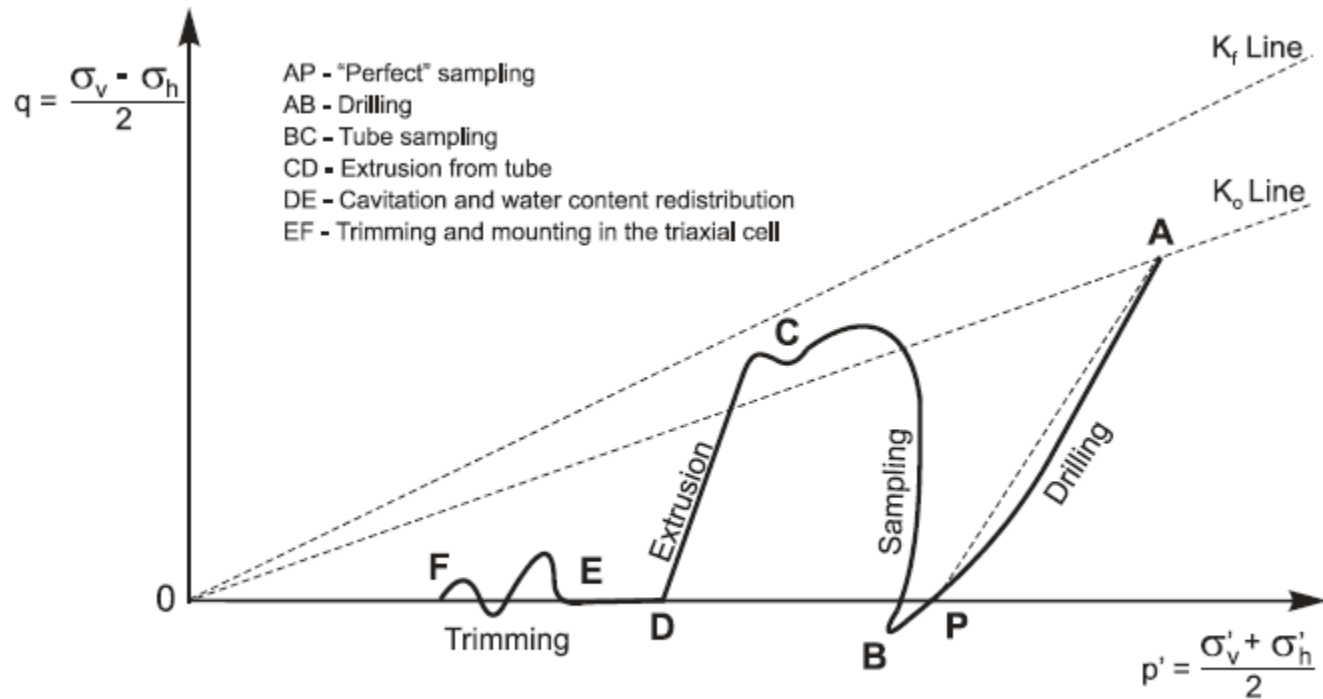


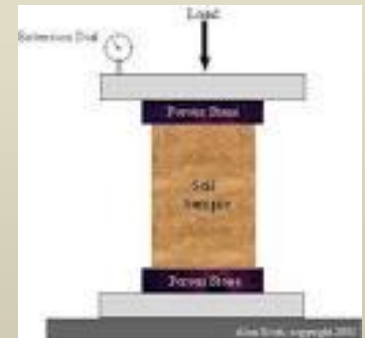
Figure 22. Disturbance during sampling and trimming (after Ladd and Lambe, 1963).

Serbest basınç deneyi

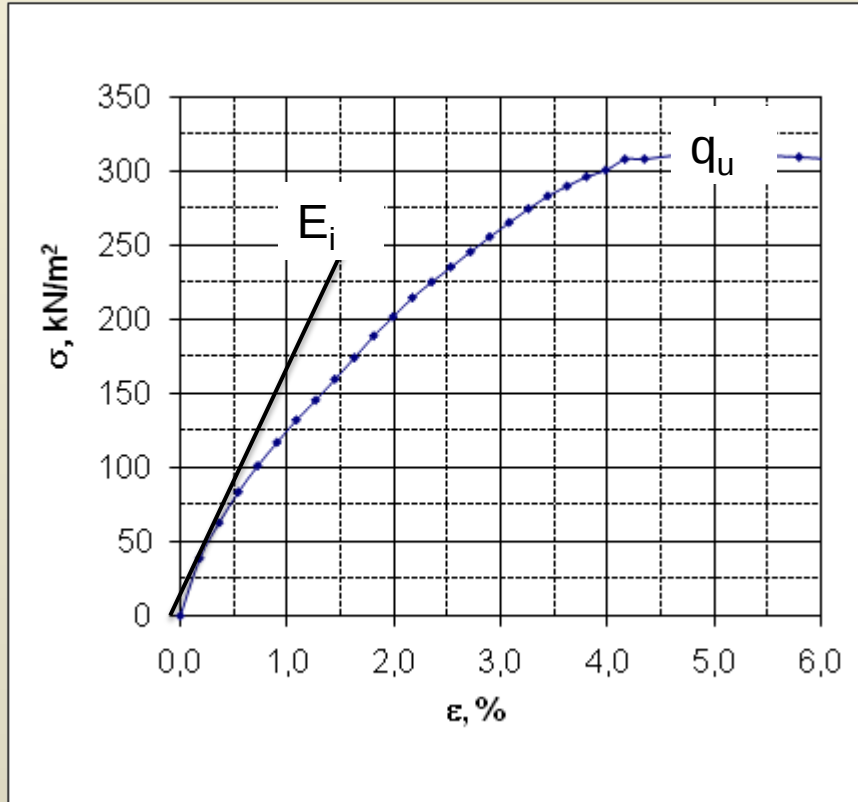
- ▶ Drenajsız kayma mukavemetini değerlerini ölçmek için yapılan bir deneydir.
- ▶ Basittir ve çok kısa sürer.
- ▶ Elde edilen değerler q_u , serbest basınç mukavemeti ve c_u , drenajsız kayma mukavemetidir.
- ▶ Silindirik bir numune (boyu, çapının iki-üç katı arasında) yanal destek olmaksızın hızlı bir şekilde göçme gerilmesine (q_u) kadar eksenel olarak yüklenir.
- ▶ .Sadece kendini tutabilen zeminlerde yapılır.



$$c_u = \frac{q_u}{2}$$



Serbest basınç deneyi



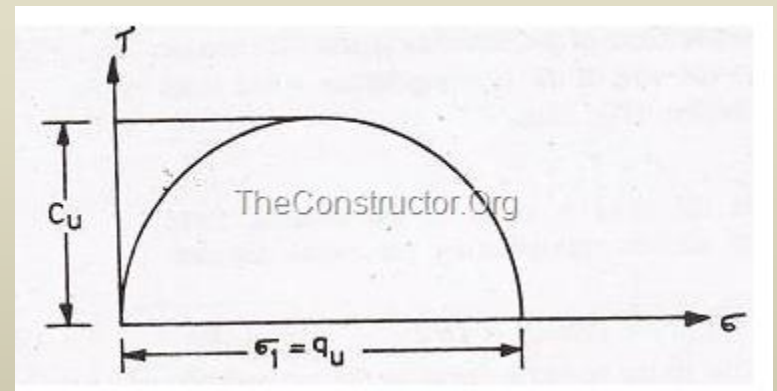
$$q_u = 310 \text{ kPa}$$

$$c_u = 310 / 2 = 155 \text{ kPa}$$

Dikkat: çevre basıncı yok

Modülü (E) tasarımda kullanmak ?

Aşırı konsolide killerdeki mevcut fisürler sonuçları etkiler, daha küçük c_u değerleri elde edilir.



Serbest basınç deneyi

Kıvam	q_u (kpa)
Çok yumuşak	<25
Yumuşak	25-50
Orta katı	50-100
Katı	100-200
Çok katı	200-400
Sert	>400

$$q_u = 310 \text{ kPa}$$

$$c_u = 310 / 2 = 155 \text{ kPa}$$

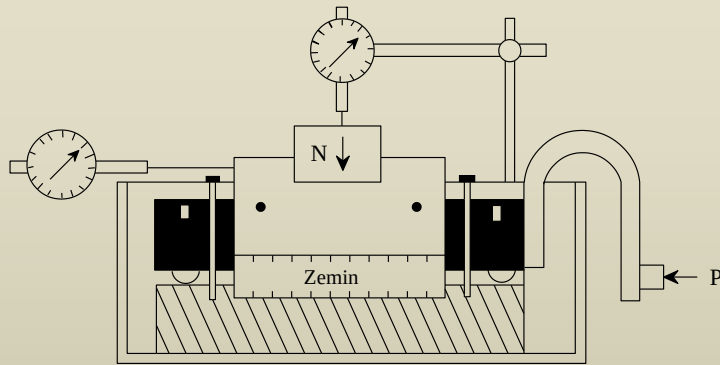
Numune “Çok katı” kıvamdadır.

Bu veriler arazi deneyi ve diğer laboratuvar verileri ile korele edilmelidir.

Kesme kutusu deneyi

Kesme kutusu deneyinde, zemin numunesi dikdörtgen veya dairesel kesitli ve iki parçadan oluşan rijit bir kutu içine yerleştirilmektedir.

Uygulanan bir kesme kuvveti altında, kutunun bir parçası sabit tutulurken diğer parçası yatay bir düzlem üzerinde hareket edebilmekte ve böylece numunenin ortasından geçen yatay düzlem boyunca zemin kaymaya zorlanmaktadır.

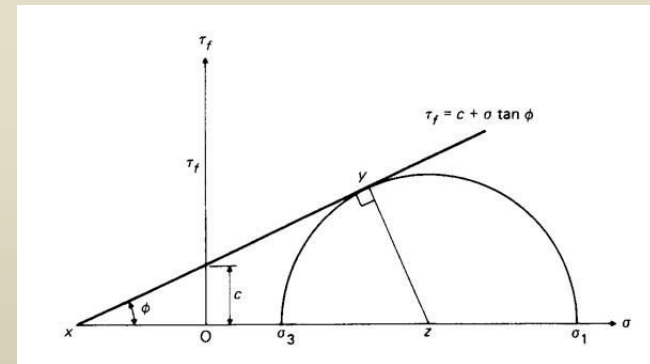
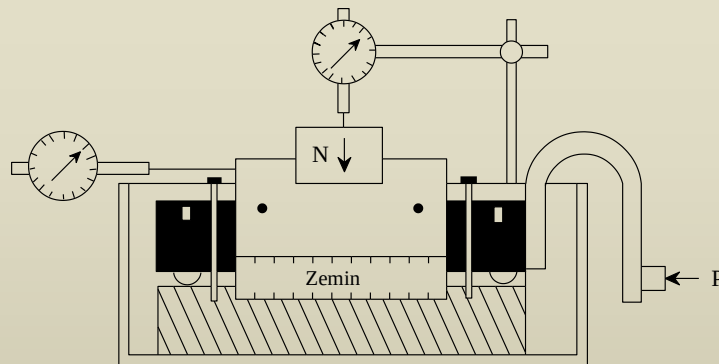
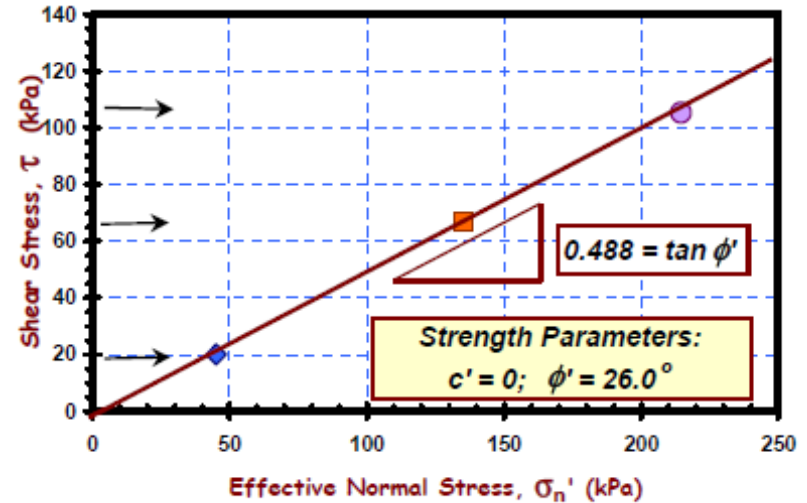
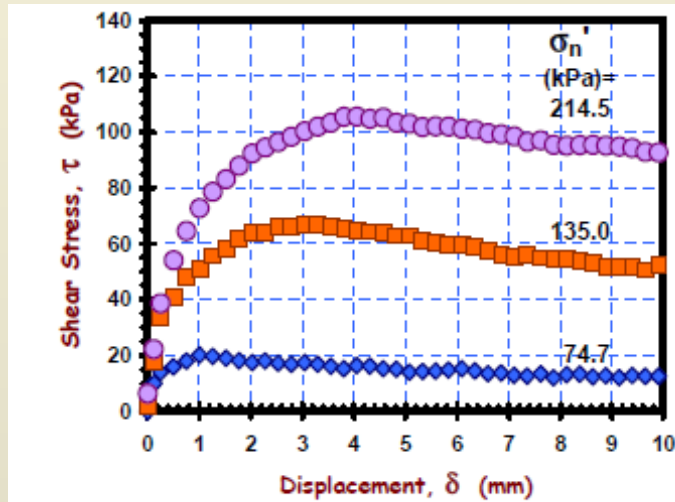


Deney farklı gerilmeler altında üç kez tekrarlanır ve kırılma zarfı elde edilir.

Kesme kutusu deneyi



Kesme kutusu deneyi



Kesme kutusu deneyi

Dezavantaj:

Kesme sırasında oluşan boşluk suyu basıncı artışlarını ölçmenin mümkün olmaması,

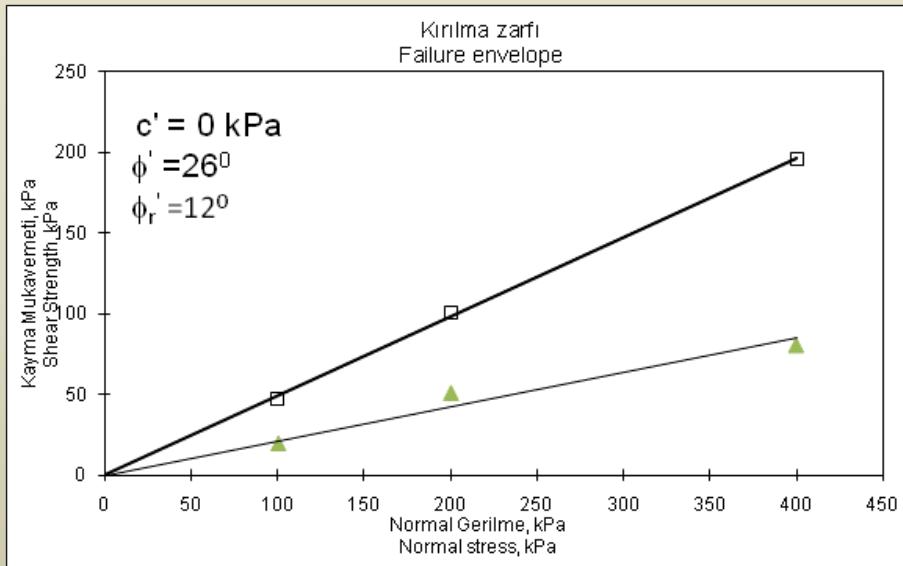
göçmenin daha önceden belirlenmiş bir düzlem boyunca olmaya zorlanması,

kırılma düzlemi boyunca gerilme dağılımının üniform olmamasıdır.

Kesme kutusu deneyi

Kesme kutusu deneyi ile zemine ait pik ve kritik mukavemet değerleri bulunabilir.

Numune aynı düzlem üzerinde bir kaç kez kesilerek, rezidüel kayma mukavemeti parametreleri elde edilebilir. İnce daneli zeminler için önemli bir parametredir!!



Rezidüel parametreler:

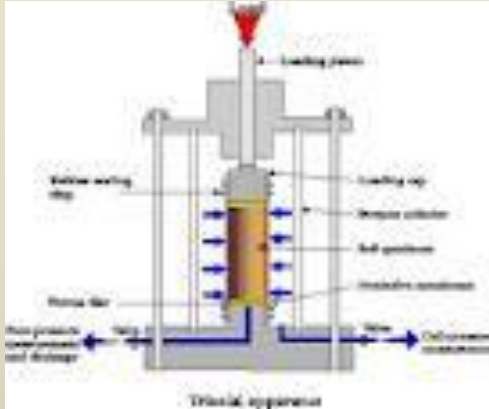
Heyelan oluşmuş bir şevde geri analiz yapılırken kullanılmalı.

Kil içeriği arttıkça, LL arttıkça rezidüel sürtünme açısı 7-8°'e kadar düşebilir!!

Üç eksenli basınç deneyleri

Numune üzerinde arazideki benzer gerilmeler oluşturulabilmesi nedeni ile en gelişmiş deney tipidir.

Numune sadece eksenel değil, yanal olarak da gerilme altında bırakılır, böylece arazi koşulları modellenenebilir



Üç farklı tip deney yapılabilir.

UU: Konsolidasyonsuz-drenajsız

CU: Konsolidasyonlu-drenajsız

CD: Konsolidasyonlu-drenajlı

Üç eksenli basınç deneyleri

UU:

- Bir dolgunun normal konsolide killer üzerine hızlı bir şekilde inşa edilmesi,
- Yumuşak bir zemin üzerinde hızlı bir şekilde temel inşa edilmesi

CU:

- Altındaki zeminde konsolidasyon süreci tamamlanmış bir dolgu üzerine hızlı bir şekilde ilave dolgu yapılması
- Doğal bir yamaç üzerine hızlı bir dolgu yapılması

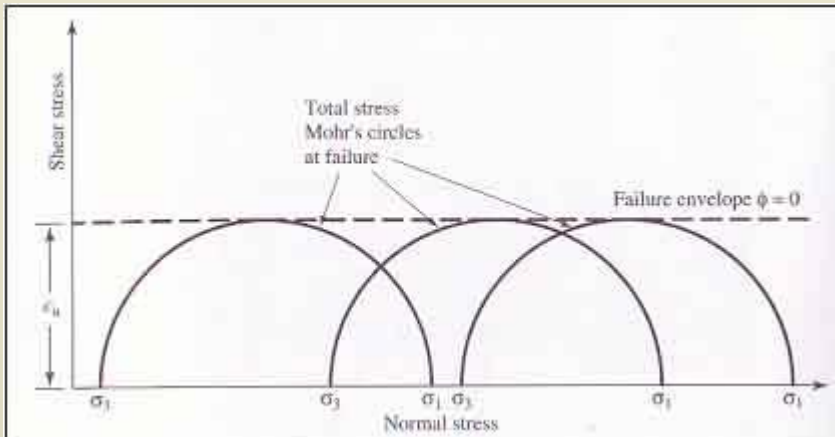
•CD:

- Kademeli dolgu imalatı
- Doğal bir yamaçtaki mukavemet değerleri

UU- Konsolidasyonsuz-drenajsız (Hızlı)

Silindirik aynı zemine ait üç farklı numune üç farklı çevre gerilmesine maruz bırakılır ve bu aşamada drenaja izin verilmez.

İkinci aşamada drenajsız şartlarda 15-20 dakika içerisinde kesilir.



Drenajsız kayma
mukavemeti:

$$c_u, \\ \phi=0$$

UU- Konsolidasyonsuz-drenajsız (Hızlı)

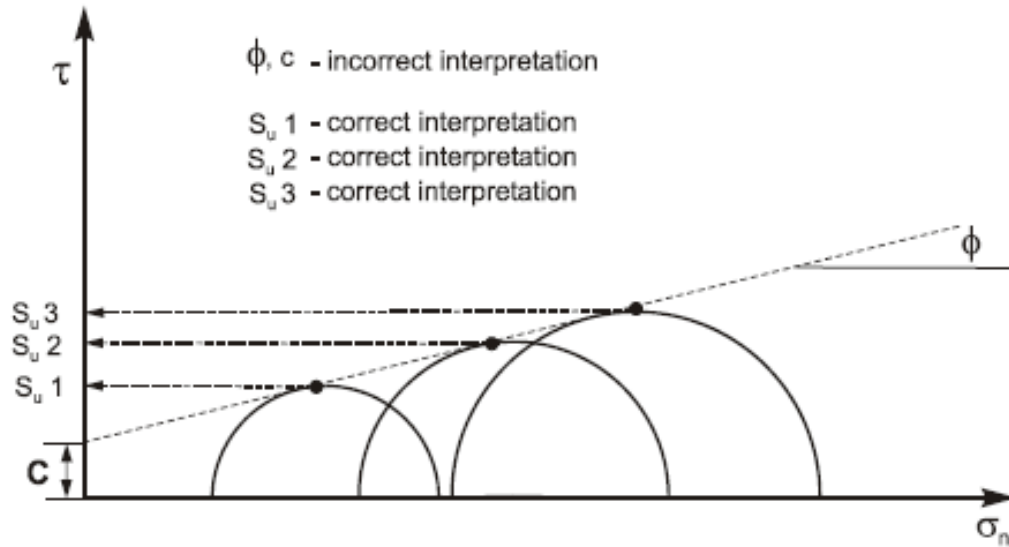


Figure 78. Interpretation of UU test data.

Numuneler doymun ise kırılma zarfı yatay çıkmalıdır.

Yatay çıkmamasının sebebi numunenin doymun olmaması ve gerilme altında hacminin azalarak, mukavemetinin bir miktar artmasıdır.

Yatay değil ise bile UU deneyi için ϕ açısı verilmemelidir.

Bu durumda her numune için ayrı bir c_u değeri verilmelidir.

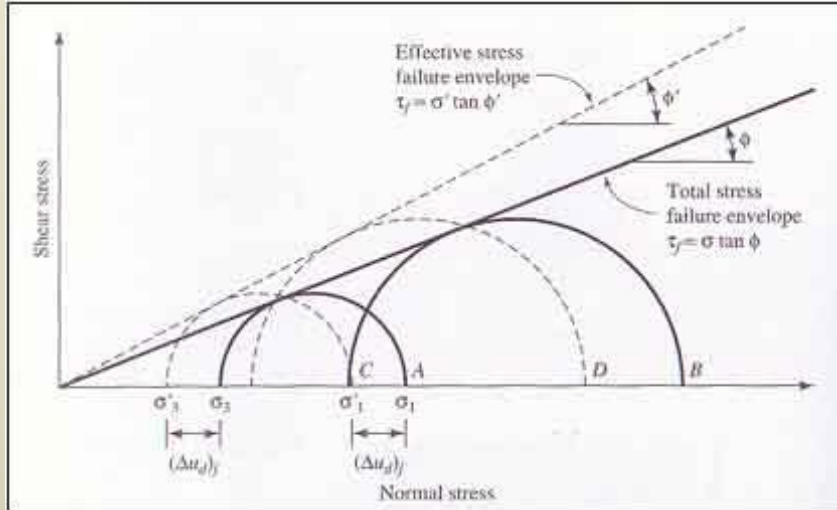
UU- Konsolidasyonsuz-drenajsız (Hızlı)

- ▶ Efektif gerilme kontrolü yok...
- ▶ Numunede oluşan kabarma sebebiyle boşluk oranı artar ve daneler birbirinden uzaklaşır..
- ▶ O nedenle tüpten çıkan numuneler üzerinde deneyler vakit geçirmeden yapılmalıdır.
- ▶ Aşırı konsolide killerde şişme, mevcut fisürler vs. dolayısı ile %50 civarında düşük sonuçlar elde edilebilir !!!

CU- Konsolidasyonlu-drenajsız

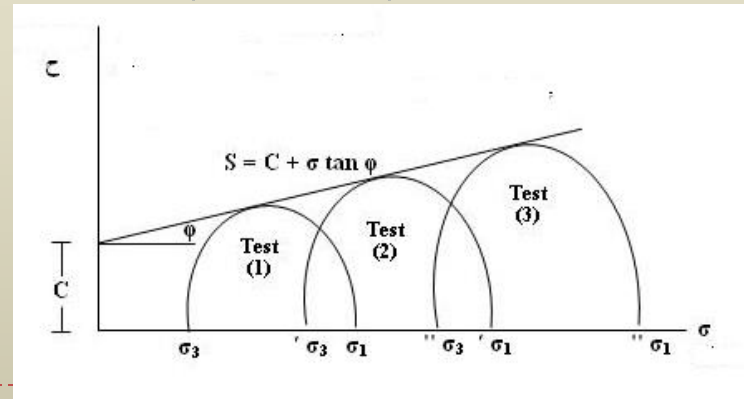
Silindirik aynı zemine ait üç farklı numune öncelikle sature edilir. İkinci aşamada numuneler üç farklı çevre gerilmesine maruz bırakılır ve bu aşamada drenaja izin verilir. Numuneler konsolide olur.

Son aşamada drenajsız şartlarda 15-20 dakika içerisinde kesilir. Boşluk suyu basınçları özel aletlerle okunur.

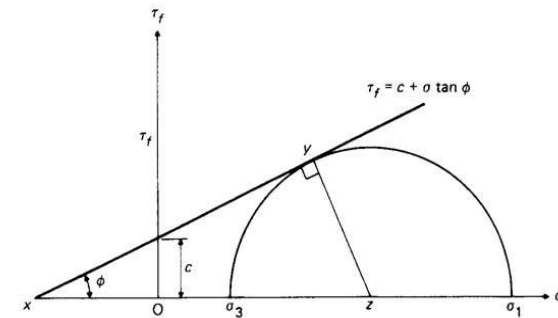
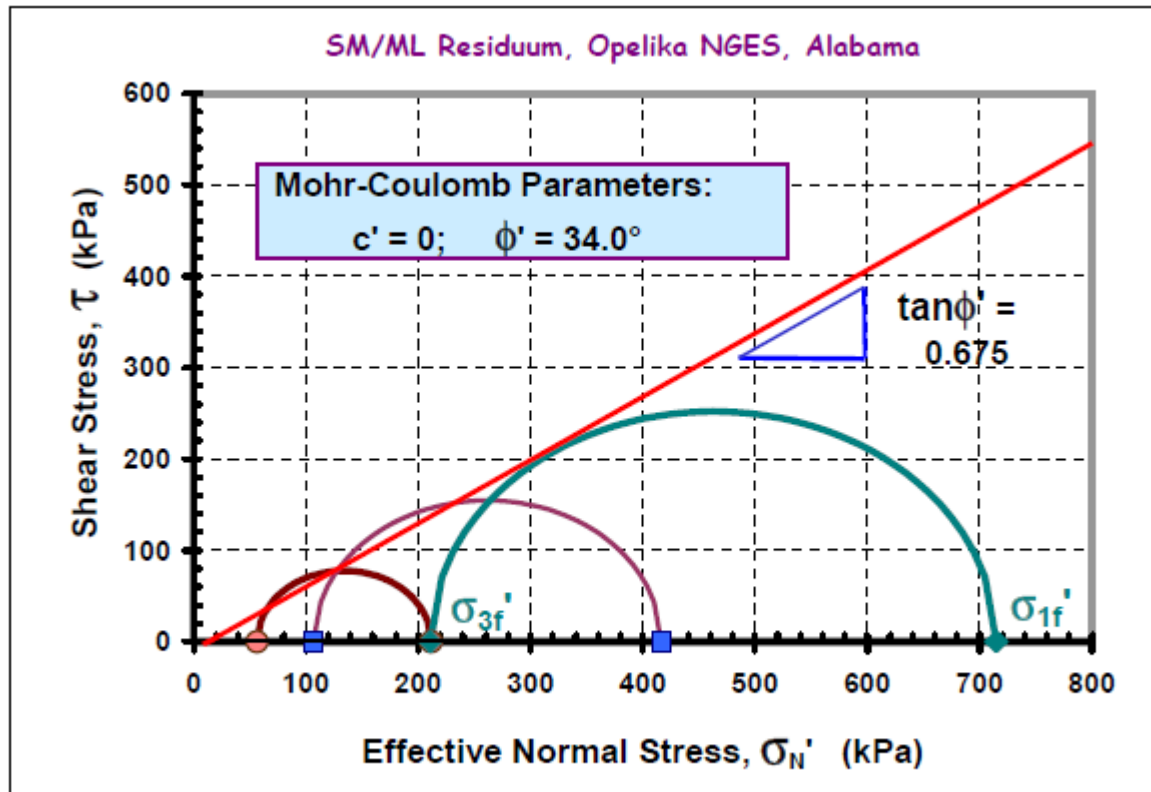


Toplam ve efektif mukavemet parametreleri elde edilir.

c , ϕ ve c' , ϕ' elde edilir.



CU deneyi...

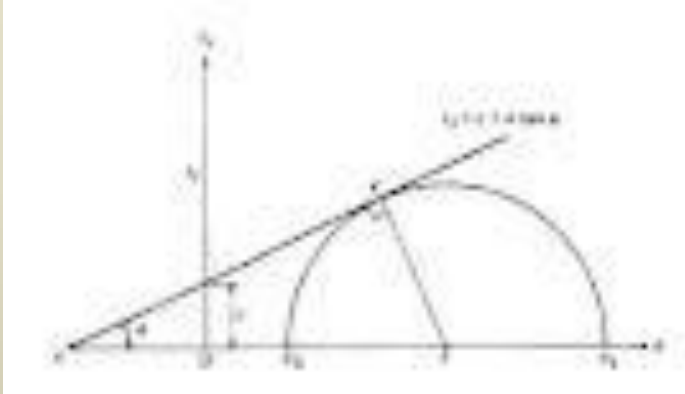


CD- Konsolidasyonlu-drenajı (Çok yavaş)

Aynı zemine ait üç farklı numune öncelikle sature edilir. İkinci aşamada numuneler üç farklı çevre gerilmesine maruz bırakılır ve bu aşamada drenaja izin verilir. Numuneler konsolide olur.

Son aşamada drenajlı şartlarda uzun saatler içerisinde kesilir. Bu hızda ilave boşluk suyu basınçları oluşmaz.

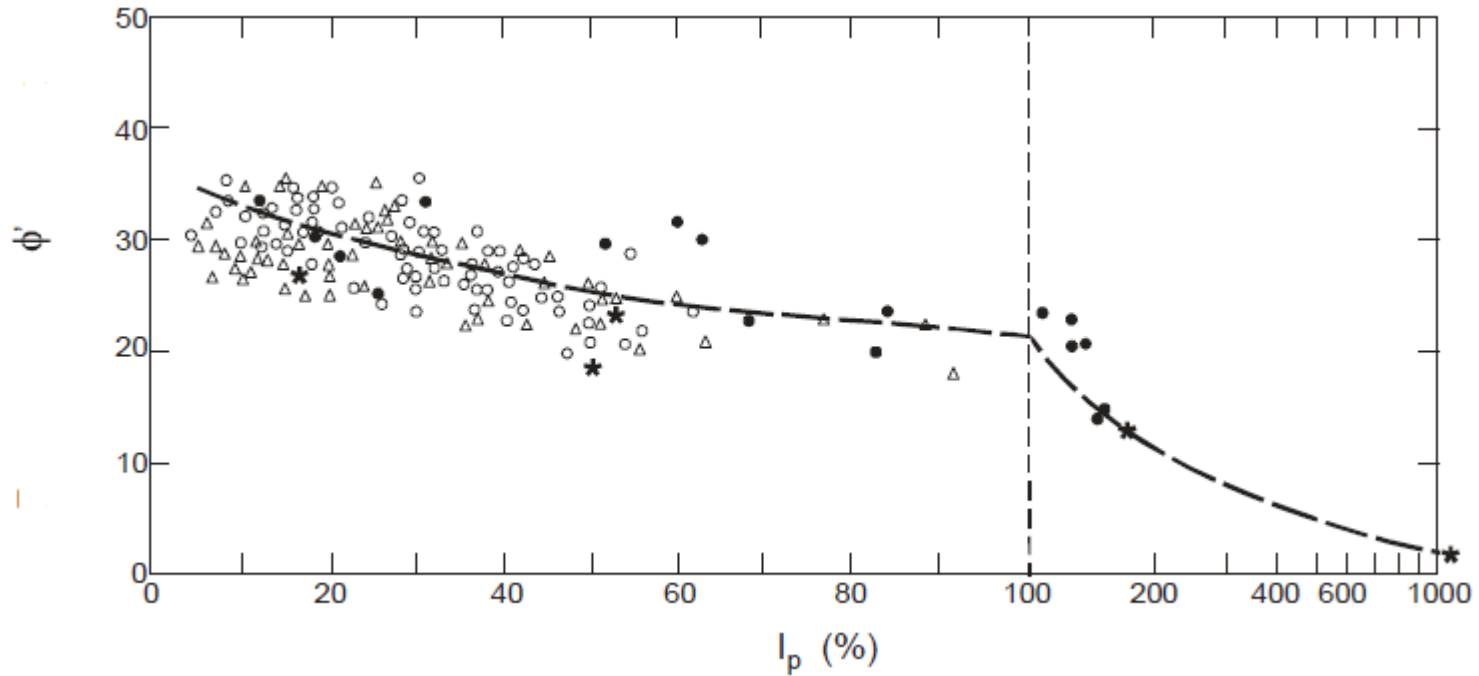
Efektif mukavemet parametreleri elde edilir. Deformasyon modülü (E) elde edilir.



c' , ϕ' Normal konsolide zeminlerde $c'=0$, aşırı konsolide zeminlerde biraz daha büyük

Killer için ϕ' kıvam limitleri ile korele edilebilir.

ϕ' -PI ilişkisi



Önemli!!

Drenajsız kayma mukavemetine ait tüm veri derinliğe bağlı olarak çizilmelidir.

Su muhtevaları, kıvam limitleri ve drenajsız kayma mukavemetleri birlikte değerlendirilmelidir.

Üç eksenli basınç deneyleri üç numune üzerinde yapılmalıdır.

Tek bir numune ile CD, CU veya UU deneyi yapılmaz.

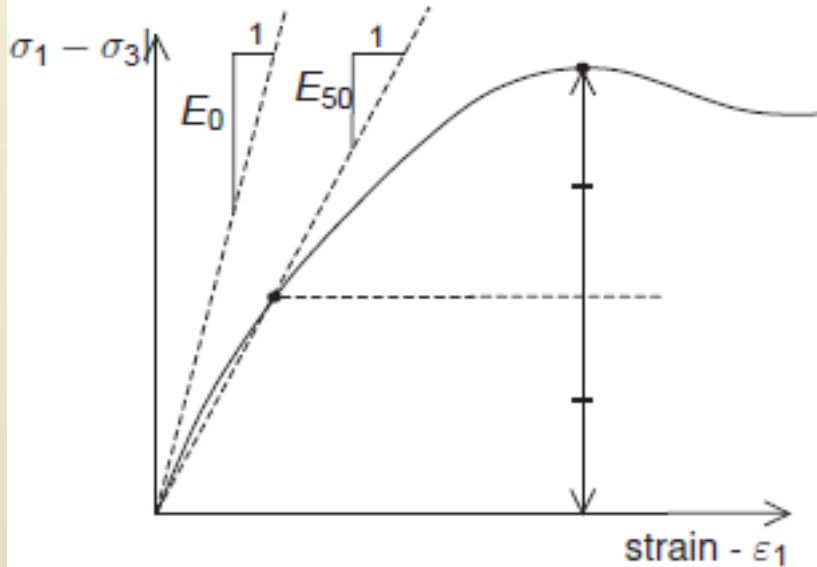
Boyu çapına eşit olan numuneler kullanılmaz.

UU deneyi en hızlı, CD deneyi en uzun süren, bu nedenle tercih edilemeyen bir deneydir.

CU deneyi daha uygun görülmektedir.

Araziden elde edilen SPT, CPT verileri amprik bağıntılar için kullanılabilir, ancak tüm veriler her zaman birarada değerlendirilmelidir.

Modül değerleri..



m	: Power for stress-level dependency of stiffness	[-]
E_{50}^{ref}	: Secant stiffness in standard drained triaxial test	[kN/m ²]
E_{oed}^{ref}	: Tangent stiffness for primary oedometer loading	[kN/m ²]
E_{ur}^{ref}	: unloading / reloading stiffness at engineering strains ($\epsilon \approx 10^{-3}$ to 10^{-2})	[kN/m ²]
ν_{ur}	: Poisson's ratio for unloading-reloading	[-]
G_0^{ref}	: reference shear modulus at very small strains ($\epsilon < 10^{-6}$)	[kN/m ²]
$\gamma_{0.7}$	: shear strain at which $G_s = 0.722G_0$	[-]

TABLE 12.1. VALUES OF E

Type of soil	Range of values of E (MPa or kN/m ² × 1000)
1. Clay	
(i) Very soft	2–15
(ii) Soft	5–25
(iii) Medium	15–20
(iv) Hard	50–100
(v) Sandy	25–250
2. Loess	15–60
3. Sand	
(i) Silty	5–20
(ii) Loose	10–25
(iii) Dense	50–81
4. Sand and Gravel	
(i) Loose	50–150
(ii) Dense	100–200
5. Silt	2–20

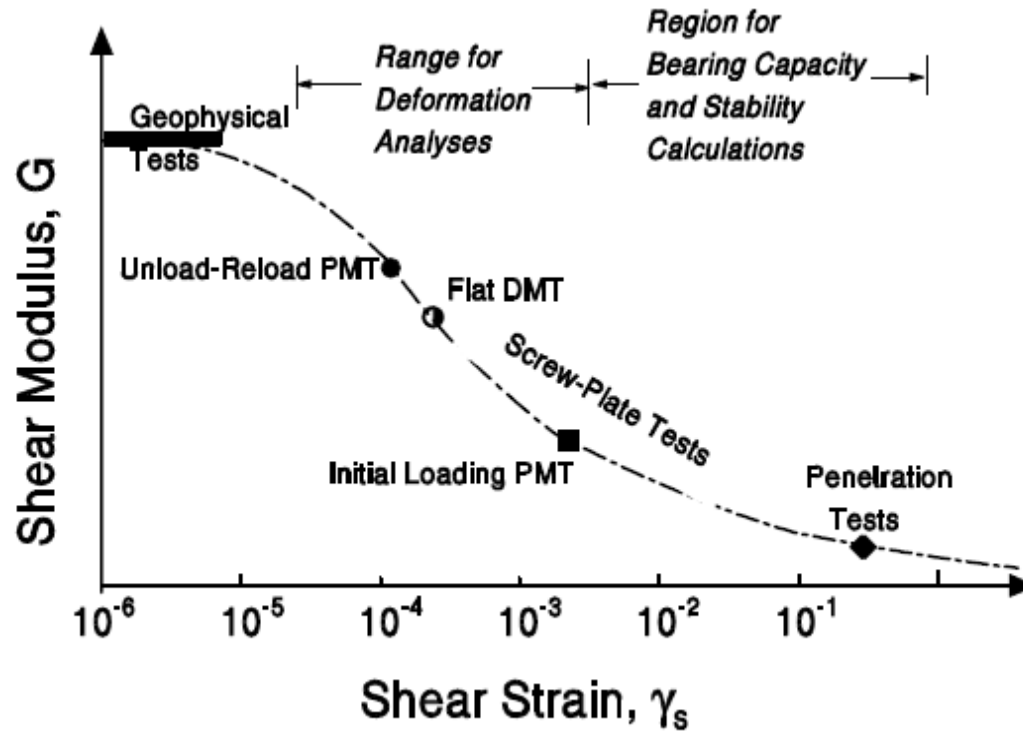
Soil - Hardening soil - <NoName>

General Parameters Flow parameters Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Stiffness		
E_{50}^{ref}	kN/m ²	0.000
E_{oed}^{ref}	kN/m ²	0.000
E_{ur}^{ref}	kN/m ²	0.000
power (m)		0.5000
Alternatives		
Use alternatives		☐
C_c		10.00E9
C_s		10.00E9
e_{init}		0.5000
Strength		
c'_{ref}	kN/m ²	0.000
ϕ' (phi)	°	0.000
ν (psi)	°	0.000
Advanced		
Set to default values ☒		
Stiffness		
ν'_{ur}		0.2000
p_{ref}	kN/m ²	100.0
K_0^{nc}		1.000
Strength		
c'_{inc}	kN/m ² /m	0.000
γ_{ref}	m	0.000
R_f		0.9000
Tension cut-off		☒
Tensile strength	kN/m ²	0.000

Next OK Cancel

Kayma modülü, G



Kayma modülü değeri oluşan kayma birim deformasyon değeri ile mertebelerce değişir.

Bu nedenle hangi laboratuvar veya arazi deneyi ile ölçüldüğü önem taşır.

Jeofizik deneyler, penetrasyon deneyleri, vs..

Laboratuvar Kaya Deneyleri

Nokta yükleme dayanımı

Basınç dayanımı

Durabilite

Gerilme-deformasyon

Direkt kayma dayanımı

Kayalardaki çatlakların sıklığı, yönü deney sonuçları büyük ölçüde etkiler.

Geoteknik Etüt Raporlarındaki Yaygın Hataların Belirlenmesi ve İstatistiksel Değerlendirilmesi*

Tablo 4 - Laboratuvar deneyleri ile ilgili inceleme kriterleri ve sonuçların yüzdesel değerleri

	Evet	Hayır
Laboratuvar testleri her bir katman için yapılıyor mu? (mühendislik parametreleri belirlenmesi)	%3	%97
Laboratuvar testleri her bir katman için yapılıyor mu? (İndeks ve sınıflandırma)	%17	%83
Konsolidasyon deneyi var mı?	%70	%30
Konsolidasyon deneyinde boşaltma-yeniden yükleme işlemi yapılmış mı?	%0	%100
Üç eksenli basınç deneyi yapılmış mı?	%49	%51
Yenilme zarfının belirlenmesinde üç adet Mohr dairesi kullanılmış mı?	%0	%100
Mohr daireleri birbirinden yeterince uzak mı?	%67	%33
Üç eksenli deney sonucuna göre yenilme zarfı düzgün/ uygun çizilmiş mi?	%83	%17
Karot örnekleri üzerinde hangi laboratuvar testleri yapılmış? (Nokta yükleme deneyi, Tek eksenli basınç dayanımı)	%96 nokta yükleme %4 tek eksenli sıkışma	

Laboratuvar deneyleri... parametreler...

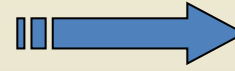
Zemin

+

Deney
tipi

+

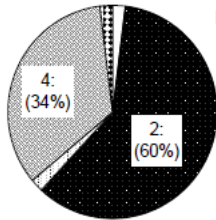
Transfor
masyon?



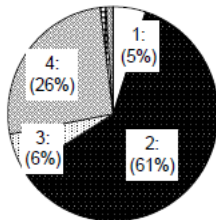
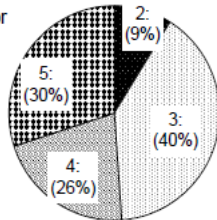
Zemin
parametresi

Several results

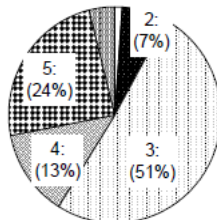
A few results



Investigator



Designer



[Legend]

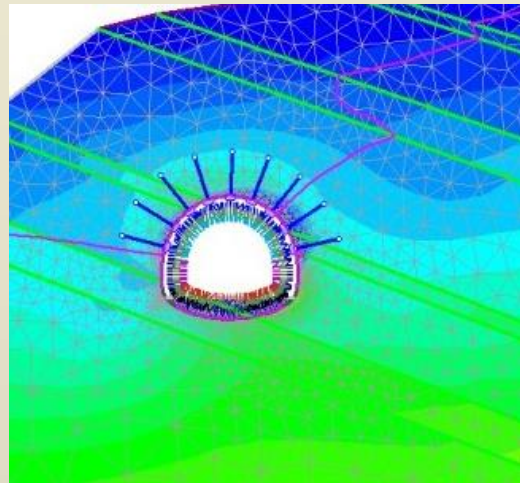
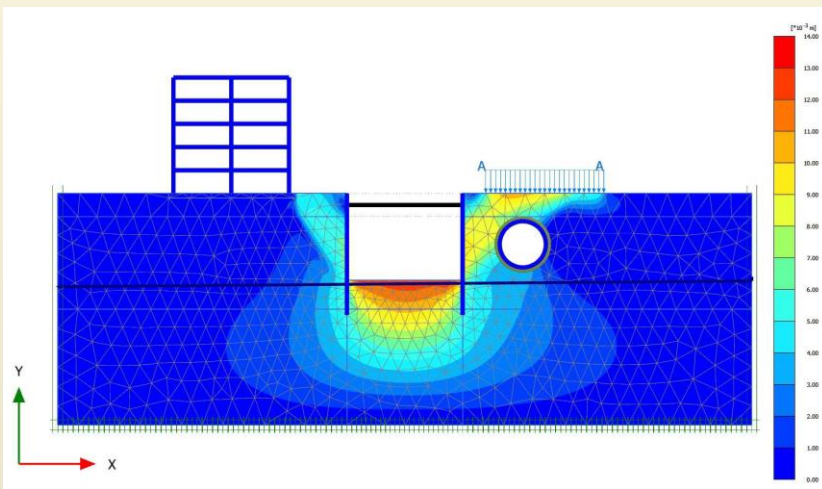
- 1: Simple mean of all derived values
- 2: Simple mean of derived values after excluding out-lying values
- 3: Lower bound of derived values after excluding out-lying values
- 4: Smaller than mean value considering the variation in derived values, e.g. Mean $\pm$ SD/2
- 5: Experience/Engineering judgement

Japonya'da yapılan bir araştırma sonucuna göre;

Çok sayıda veri olduğunda, ortalama değer

Az sayıda veri olduğunda en düşük değer
ve/veya tecrübe/mühendislik **icgüdüsü**





Soil - Hardening soil - <NoName>

General Parameters Flow parameters Interfaces Initial

Property	Unit	Value
Stiffness		
E_{50}^{ref}	kN/m ²	0.000
E_{oed}^{ref}	kN/m ²	0.000
E_{ur}^{ref}	kN/m ²	0.000
power (m)		0.5000
Alternatives		
Use alternatives		☐
C_c		10.00E9
C_s		10.00E9
e_{init}		0.5000
Strength		

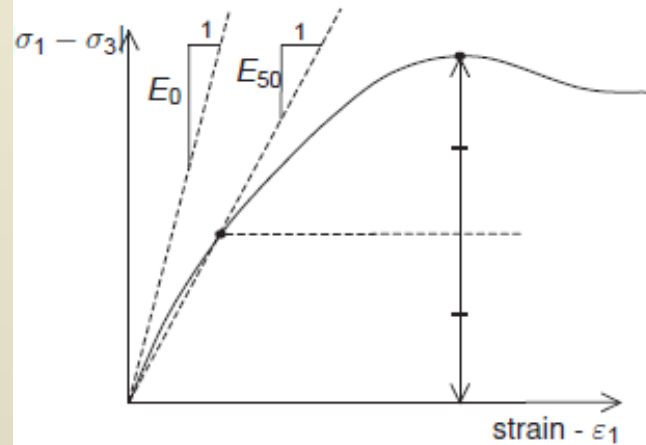


TABLE 12.1. VALUES OF E

Type of soil	Range of values of E (MPa or kN/m ² × 1000)
1. Clay	
(i) Very soft	2–15
(ii) Soft	5–25
(iii) Medium	15–20
(iv) Hard	50–100
(v) Sandy	25–250
2. Loess	15–60
3. Sand	
(i) Silty	5–20
(ii) Loose	10–25
(iii) Dense	50–81
4. Sand and Gravel	
(i) Loose	50–150
(ii) Dense	100–200
5. Silt	2–20

m	: Power for stress-level dependency of stiffness	[-]
E_{50}^{ref}	: Secant stiffness in standard drained triaxial test	[kN/m ²]
E_{oed}^{ref}	: Tangent stiffness for primary oedometer loading	[kN/m ²]
E_{ur}^{ref}	: unloading / reloading stiffness at engineering strains ($\epsilon \approx 10^{-3}$ to 10^{-2})	[kN/m ²]
ν_{ur}	: Poisson's ratio for unloading-reloading	[-]
G_0^{ref}	: reference shear modulus at very small strains ($\epsilon < 10^{-6}$)	[kN/m ²]
$\gamma_{0.7}$	: shear strain at which $G_s = 0.722 G_0$	[-]

ÖZET__ Zeminlerin indeks özellikleri

Deney adı	Uygun zemin tipi	Elde edilen zemin özellikleri	Notlar
Su muhtevası	Tüm zeminler	W_n	Özellikle ince daneli zeminler için önemli bir parametredir.
Birim hacim ağırlık ve yoğunluk	Örselenmemiş zemin numunelerinin alınabildiği durumlar	γ_n , γ_d , vb..	Örselenmemiş numune alınamadığı durumda ölçülemez.
Kıvam Limitleri LL, PL, PI	Siltli ve killi zeminler, turba	Zemin sınıflandırması, mevcut kıvamın tayini	Plastisite özelliği gösteren tüm zeminlerde ölçülmelidir.



ÖZET__Zeminlerin indeks özellikleri

Deney adı	Uygun zemin tipi	Elde edilen zemin özellikleri	Notlar
Mekanik elek	Çakıl, kum, silt ve kil (bir arada)	Zemin sınıflandırması	Kil ve silti birbirinden ayıramaz.
Hidrometre	Silt ve kil	Kil ve silt yüzdesi, ince kısmın granülometrisi	-
Spesifik gravite, G_s	Kum, silt, kil ve turba	Boşluk oranı, vb. gibi zemin özelliklerinin bulunmasını sağlar.	-
Organik içerik	Organik içerikten şüphelenen tüm zeminlerde	Organik içeriğe sahip zeminlerin tanımlanmış olması önem taşır (taşıma gücü, oturma gibi sorunların öngörülmesi)	-



ÖZET__Permeabilite ölçümüne yönelik laboratuvar deneyleri

Deney adı	Uygun zemin tipi	Elde edilen zemin özellikleri	Notlar
Sabit seviyeli permeabilite deneyi	Permeabilitesi yüksek olan zeminler, kum, çakıllı kum, vb..	k	Sonuçlar kısa süre içerisinde elde edilir.
Düşen seviyeli permeabilite deneyi	Permeabilite değeri küçük olan zeminler, silt, kil, vb.	k	Deneyler bir hafta ve daha çok sürebilir.

ÖZET__Mukavemet ve oturma özelliklerine yönelik laboratuvar deneyleri

Deney adı	Uygun zemin tipi	Elde edilen zemin özellikleri	Notlar
Konsolidasyon	Killi ve siltli zeminler	σ'_c , AKO, C_c , C_r , C_α , Şişme basıncı c_v , k	İnce daneli zeminler için uygundur.
Serbest basınç mukavemeti (UC)	Kendini tutabilen siltli ve killi zeminler <u>Granüler zeminler için uygun değildir.</u>	q_u , s_u (c_u)	Drenajsız kayma mukavemeti tayini, Çevresel basınç olmaması dezavantajıdır.
Konsolidasyonsuz drenajsız (UU) <u>Üç eksenli basınç deneyi</u>	Kumlar, siltler ve killi	$\phi=0$, c_u (s_u)	Numunelerin doygun olması gereklidir.

ÖZET__Mukavemet ve oturma özelliklerine yönelik laboratuvar deneyleri

Deney adı	Uygun zemin tipi	Elde edilen zemin özellikleri	Notlar
Konsolidasyonlu, drenajsız (CU)	Kumlar, siltler ve killeri	ϕ' , c' , ϕ , c ,	Deney sırasında boşluk suyu basıncı ölçümü yapılması önerilir. Deformasyon parametresi için uygun değildir.
Konsolidasyonlu, drenajlı (CD)	Kumlar, siltler ve killeri	ϕ' , c' , E	Uzun sürer, deformasyon parametresi için en uygun deneydir.

ÖZET__Mukavemet ve oturma özelliklerine yönelik laboratuvar deneyleri

Deney adı	Uygun zemin tipi	Elde edilen zemin özellikleri	Notlar
Kesme kutusu	Sıkıştırılmış dolgu numuneleri, kumlar, siltler ve killler	ϕ' , ϕ'_r (rezidüel)	Nispeten daha kolay bir deneydir.

Zemin parametreleri: Korelasyonlar

- ▶ **Korelasyonlar hiçbir zaman yeterli bir zemin incelemesinin yerini almamalıdır.**
- ▶ Araziden ilgili veri elde edilemediğinde,
- ▶ örneğin örselenmemiş zemin alınamadığı kumlar için SPT-içsel sürtünme açısı bağlantılarını sık sık kullanıyoruz.
- ▶ Veri sayısının yetersiz olması durumunda;
- ▶ Örneğin C_c , kıvam limitleri (LL) ile w_n ile korele edebiliyoruz.
- ▶ Aynı tip zemin ile ilgili verilerde çelişki olduğunda, kontrol amaçlı korelasyonları kullanabiliriz.

Zemin parametreleri: Korelasyonlar

NAVFAC, 1982

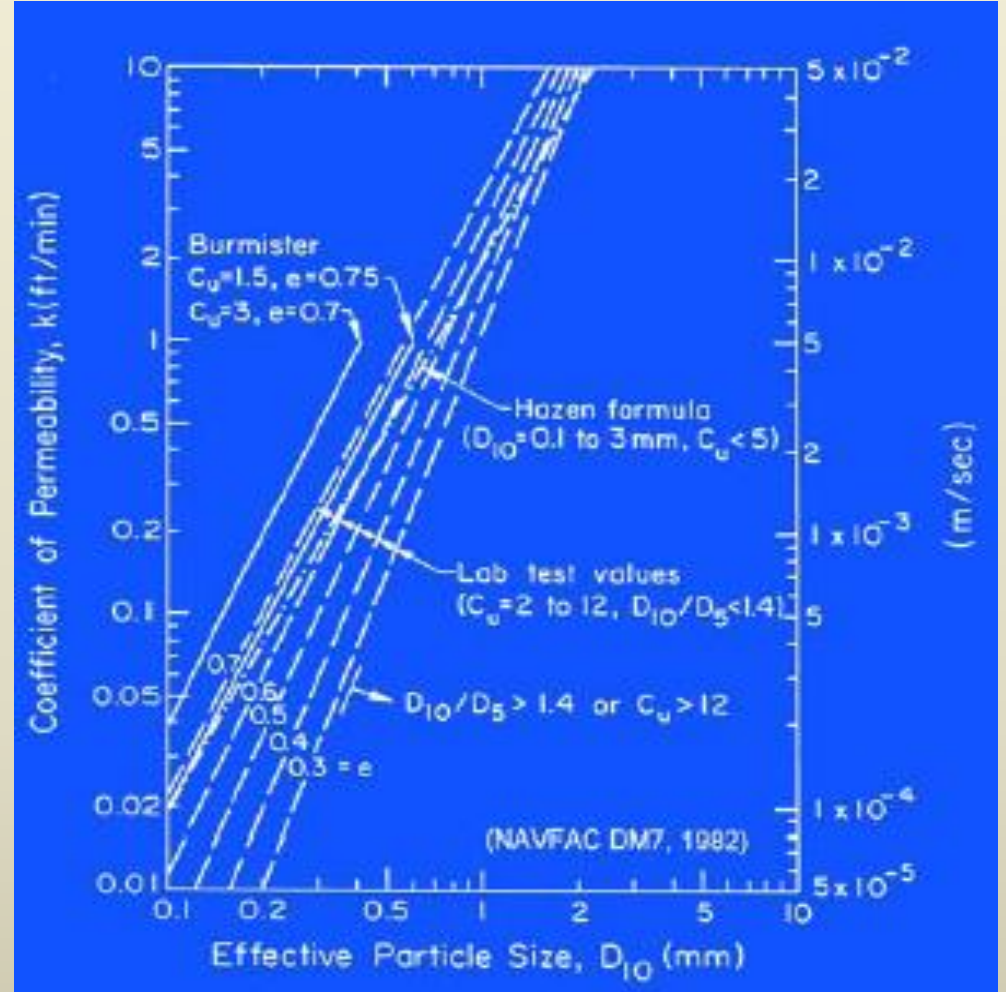
EPRI (Kulhawy ve
Mayne, 1990)

Korelasyonları kullanırken;

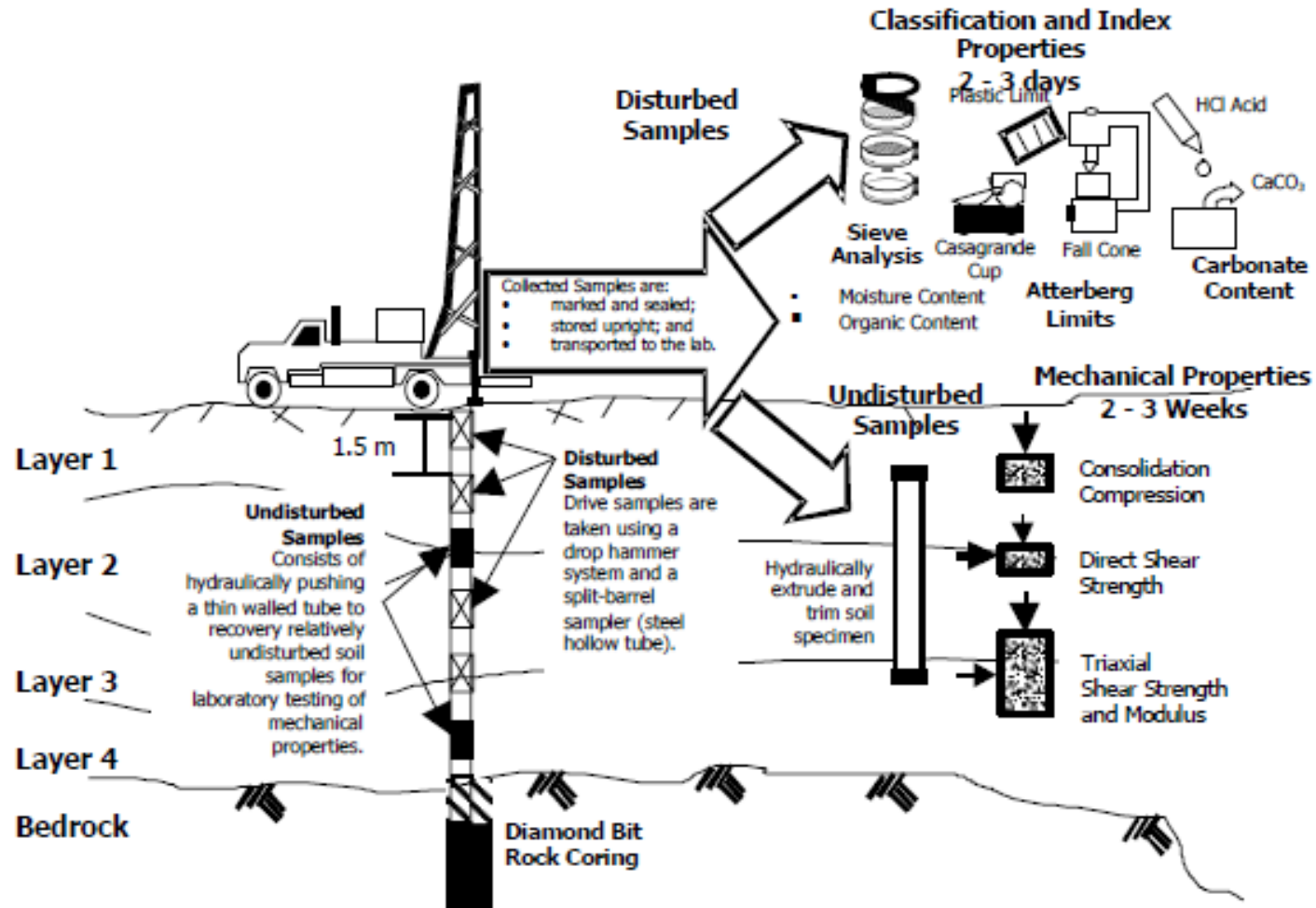
Formül veya grafiklerin benzer
zeminler için kullanılması
gerektiğini ve

ancak YAKLAŞIK bir sonuç
elde edilebildiğini

► unutmayalım.



ÖZET



Kaynaklar

- ▶ **Geoteknik Bilgisi 1, Zeminler ve Mekaniği, Prof. Dr. Akın Önalp**
- ▶ FHWA-IF-02-034, GEOTECHNICAL ENGINEERING CIRCULAR NO. 5, Evaluation of Soil and Rock Properties
- ▶ Holtz, R., Kovacs, W. An Introduction to Geotechnical Engineering”
- ▶ Türk Standartları
- ▶ Head, “Manual of Laboratory Testing”
- ▶ Paul W. Mayne, Barry R. Christopher, and Jason DeJong, Manual on Subsurface Investigations, National Highway Institute, Publication No. FHWA NHI-01-031, Geotechnical Site Characterization, 2001

Teşekkürler...

➤ Potts (2003) *Numerical analysis: a virtual dream or practical reality?* Geotechnique

“Arazi incelemeleri ile ilgili alışkanlıklarımızın ve rutin deney programlarının değişmesi gerekiyor”