

## Zeminlerin Sınıflandırılması

### Geoteknik Mühendisliğinde Sınıflandırmanın Rolü

Sınıflandırma ve indeks özellikleri  
(w,e,ρ,S,D<sub>ç</sub>D,LL,I<sub>p</sub>,v<sub>s</sub>)

Sınıflandırma sistemi

Mühendislik özellikleri  
Permeabilite, sıkışabilirlik, büzülme-şişme, mukavemet vb.

Mühendislik fonksiyonu  
Karayolu, temel, baraj vs.

## Zemin Tipleri

- Zeminler dört ana grupta tanımlanabilir. Bunlar (iri tanelen inceye doğru) **çakıl, kum, silt, ve kildir.**
- **Kumlar ve çakıllar iri taneli zeminler** olarak tanımlanır.
- **Killler ve siltler ince taneli zeminlerdir.**
- Zeminler genellikle değişik boyuttaki tanelerin karışımıdır ve bu karışımdaki zemin tiplerinin oranına bağlı olarak sınıflandırılırlar.
- Zemin içindeki taneler farklı boyut ve şekillerdedir ve bu özellikler mühendislik davranışı üzerinde önemli rol oynar.

## Kohezyonlu ve Kohezyonsuz zeminlerin özellikleri

- **Kohezyonsuz zeminler**
  - Genellikle granüler ve kaba daneli zeminlerdir
  - Daneler doğal halde birbirine yapışmazlar
  - Daha büyük permeabiliteye sahiptirler
- **Kohezyonlu Zeminler**
  - Genellikle ince daneli zeminlerdir
  - Kil mineralleri nedeniyle daneler doğal halde birbirine yapışık haldedirler
  - Düşük permeabiliteye sahiptirler

## Granüler veya Kohezyonsuz Zeminler

- Yapı ve yollarda çok iyi temel malzemesidir
- En iyi baraj malzemesidir,
- Dayanma yapıları için en iyi arka dolgu malzemesidir
- Titreşimli yükler altında oturabilir,
- Yüksek permeabilite nedeniyle su tahliyesinde problemler yaşanabilir
- Eğer serbest drenaj söz konusuysa donma beklenmez

## İnce daneli veya Kohezyonlu Zeminler

- Genellikle düşük kayma mukavemetine sahiptirler
- Plastik ve sıkışabilir bir yapıya sahiptirler
- Bünyelerine su aldıklarında ve örselenmeye maruz kaldıklarında kayma mukavemeti kaybına uğrarlar
- Dolgu ve baraj yapımı için iyi bir malzeme değildirler
- Permeabiliteleri çok düşüktür,
- Kil şevleri heyelanlara açıktır.

## Tane Çapı Dağılımı- Granülometri

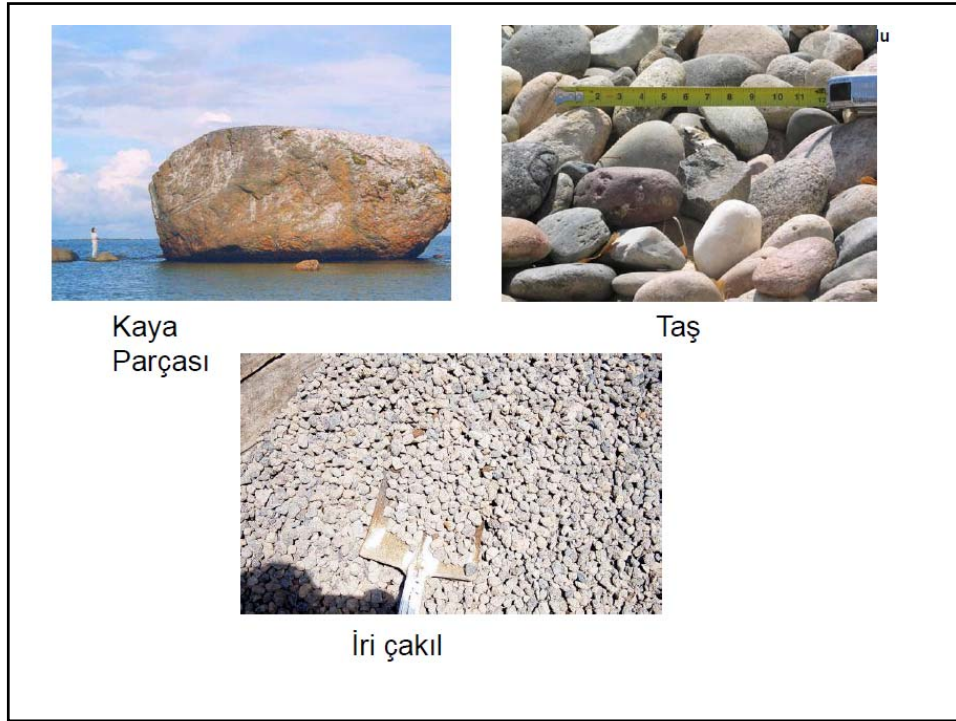
- Tane çapı dağılımını esas alan çeşitli sınıflandırma sistemleri vardır. Bu ders kapsamında Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS) olarak ta tanımlanan ASTM sistemi ve Karayolları Zemin Sınıflandırma Sistemi (AASHTO) anlatılacaktır.
- ASTM'ye göre, çapı **75mm** den daha büyük olan taneler kaya parçaları veya taş olarak tanımlanır.
- Daha küçük taneler zemin olarak tanımlanır(**<75mm**), ve belirli delik çapına sahip eleklerden geçebilme miktarlarına göre sınıflandırılırlar.
- Belli boyutta deliklere sahip olacak
- şekilde dikkatle imal edilmiş elekler kullanılır.



## ASTM Tane boyu sınıflaması (Per ASTM D2487)



Passes	Sieve size	Particle Diameter (mm)	Soil Classification (-)		
	Retained on				
	350mm	> 350	Boulder	Rock Fragments	
	75mm	75.0 - 350	Cobble		
	75mm	19mm	19.0 - 75.0	Coarse gravel	
	19mm	#4 sieve	4.75 - 19.0	Fine gravel	
	#4 sieve	#10 sieve	2.00 - 4.75	Coarse sand	Soil
	#10 sieve	#40 sieve	0.425 - 2.00	Medium sand	
	#40 sieve	#200 sieve	0.075 - 0.425	Fine sand	
	#200 sieve	< 0.075	Fines (silt + clay)		

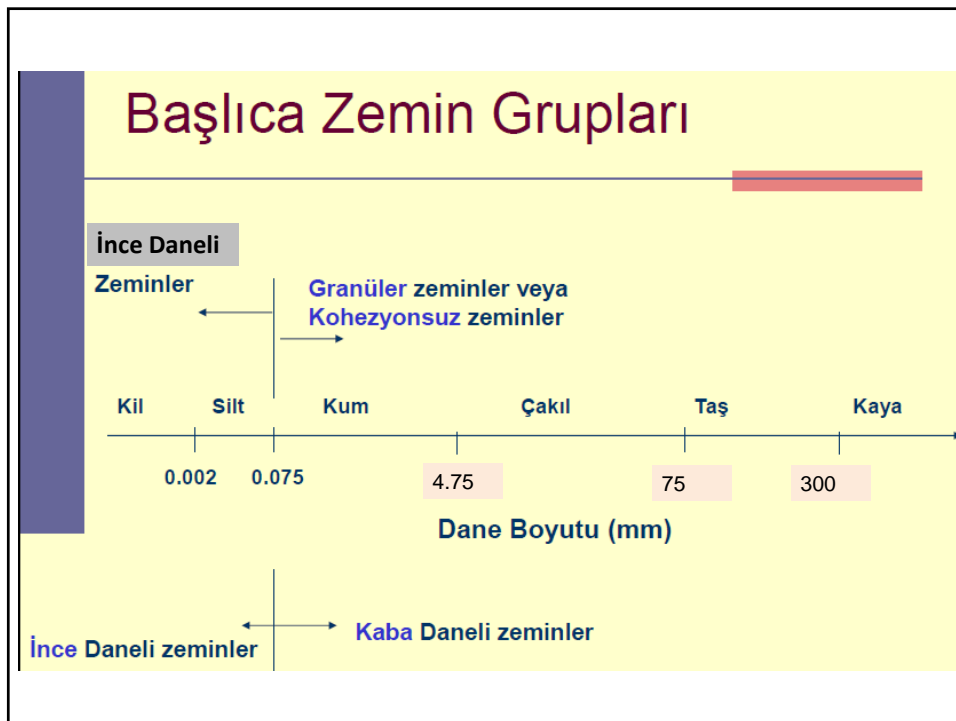


## Dane Tipleri ve Daneler Arası Bağlar

	Zemin Tipi	Dane Tipleri	Daneler arası bağlar
Kaba Daneli Zeminler	Çakıllar	Kuartz ve Feldispat (Yuvarlak veya köşeli)	Sürtünme
	Kumlar	"	Sürtünme ve kimyasal
İnce Daneli Zeminler	Siltler	Çoğunlukla kuartz	Sürtünme, kimyasal ve elektriksel
	Killer	Mika, kaolinit, bentonit (Çok küçük düzlemsel daneler)	Kimyasal ve elektriksel

<u>Zemin Türü</u>	<u>Dane Boyutu (mm)</u> <i>MIT' ye Göre</i>	<u>Dane Boyutu (mm)</u> <i>ASTM'e göre</i>
Kaya Blokları	> 200	> 300
Kaya	200-60	300-75
Çakıl	60.0 – 2.0	75- 4.75
Kum	2.0 – 0.06	4.75- 0.075
Silt	0.06 – 0.002	0.075- 0.002
Kil	< 0.002	< 0.002

*MIT(Massachusetts Institute of Technology)*  
*ASTM (American Society for Testing and Materials)*



## Laboratuar Deneyleri

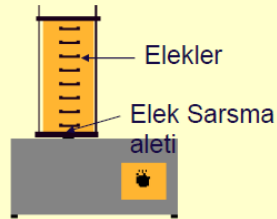
- Tane çapı dağılımı laboratuar deneyleri ile oldukça hassas olarak ölçülür : **elek analizi** ve **hidrometre deneyleri**



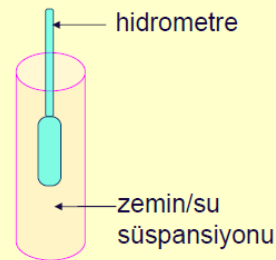
## Dane Çapı Dağılımı

Tabii zeminler değişik boyutlarda danelerin bir karışımında oluşmaktadır. Zeminlerde dane çapı dağılımının belirlenmesi:

- Kaba daneli zeminlerde ..... **Elek Analizi ile**
- İnce daneli zeminlerde ..... **Hidrometre analizi ile**



Elek Analizi



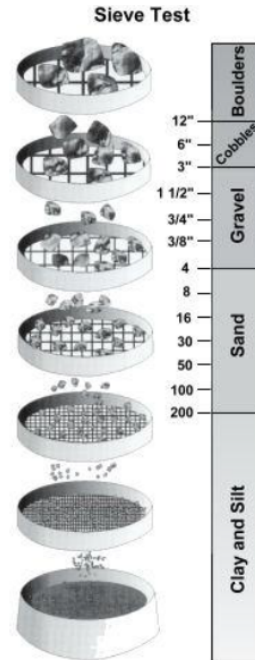
Hidrometre Analizi

## Elek Analizi

- İri taneli zeminlerin içerisindeki farklı tane boyutundaki zeminlerin ortalama boyut dağılımı (çakıllar ve kumlar) belli miktarda (ağırlıktaki) bir miktar zemini delik çapı büyükten küçüğe doğru sıralanmış eleklerden sırayla geçirerek elde edilir.
- İri delikli elekler delik çapı ile adlandırılır. (Mesela 19mm- elek en fazla 19 mm çapında küresel bir zemin tanesini geçirebilir).
- İnce eleklere ise numaralar verilmiştir, Bu numaralar bir inç (2,54 cm) uzunlukta kaç tane delik olduğunu ifade eder. (Mesela, #10 elek 1 inç uzunlukta 10 deliği olan elektir).

## Elek Analizi

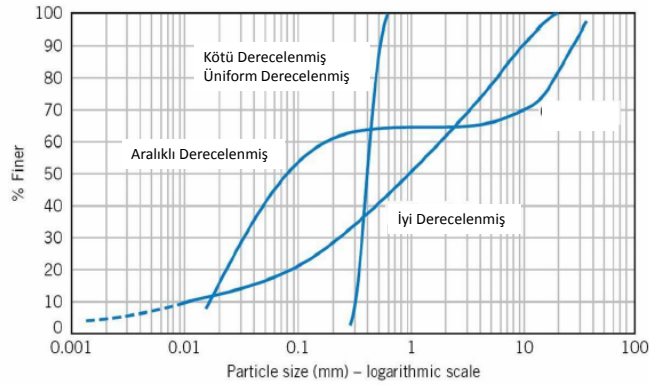
- Deney belli ağırlıktaki zemini (W), sarsma uygulayarak büyük delik çaplıdan küçüğe doğru dizilmiş eleklerden geçirerek yapılır.
- Büyükten küçüğe doğru dizilmiş eleklerin en altında deliksiz bir tepsidir.
- Her bir eleğin üzerinde kalan zemin tartılır ve bulunan değer, deney yapılan toplam zemin ağırlığının yüzdesi olarak ifade edilir.





## Elek Analizi

- Belli ağırlıktaki kuru zemin en büyük açıklıklı eleğin üzerine yerleştirilir ve elek dizisi bir süre sarsılır, sarsma işlemi bittikten sonra elek dizisi demonte edilir. Her eleğin üzerinde kalan zemin tartılır.
- Her eleğin üzerinde kalan zeminin toplama göre yüzde olarak oranı hesaplanır.
- Sonuçlar düşey eksende % geçen ve yatay eksende logaritmik ölçekte tane çapları olmak üzere grafik olarak ifade edilir.
- Elde edilen grafik tane çapı dağılım eğrisi veya granülometri eğrisi olarak adlandırılır.



## Elek Analizi

$W_i$  ağırlığı en üstten sayılarak  $i$  sırasındaki eleğin üzerinde kalan zeminin ağırlığı ve  $W$  toplam zemin ağırlığı ise  $i$  eleğinde kalan zeminin yüzdesi

$$\% \text{ Kalan} = \frac{W_i}{W} \times 100$$

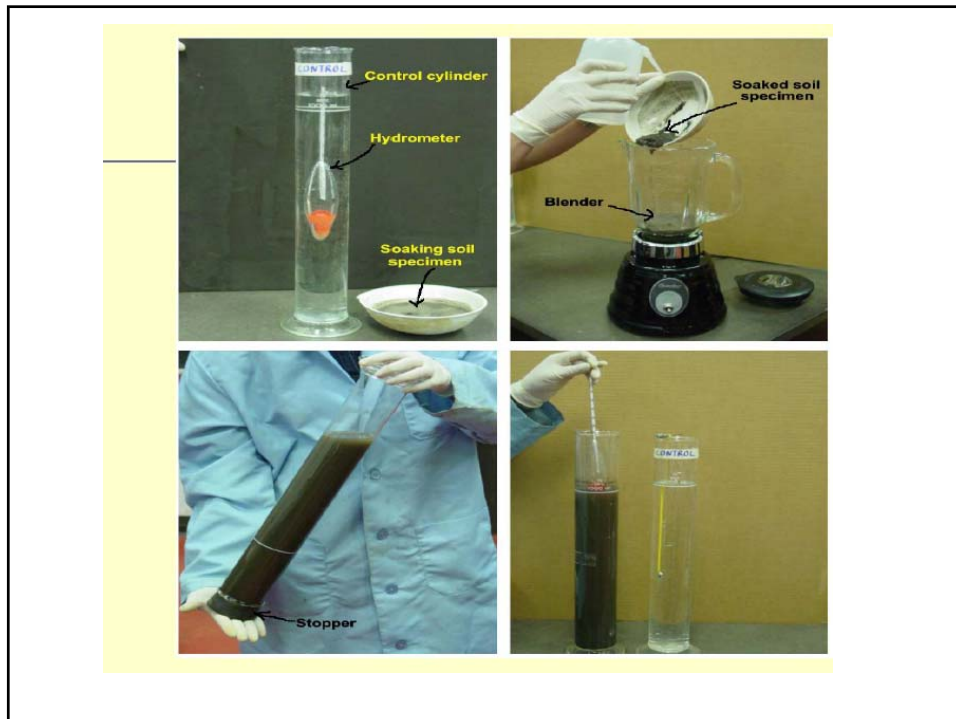
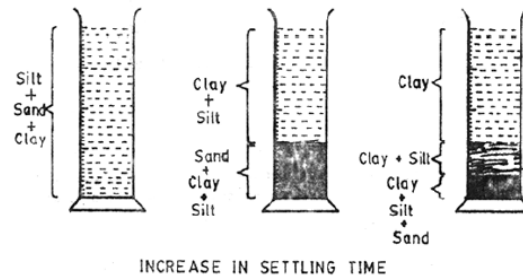
% Geçen ise;

$$\% \text{ Geçen} = 100 - \sum_{i=1}^i (\% \text{ Kalan} )$$



## Hidrometre Analizi

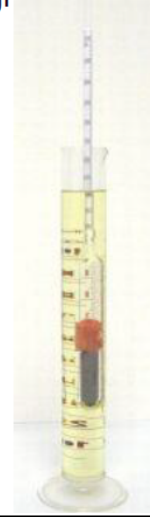
- Elek analizi siltler ve killer gibi ince taneli zeminlere uygulanamaz.
- İnce taneli zeminlerin tane çapı dağılımı için genellikle uygulanan laboratuvar deneyi **hidrometre deneyidir**.
- Deneyde az miktardaki zemin (~50 gr) suyla (~ 1000 ml) süspansiyon haline getirilir ve süspansiyondaki katı tanelerin çökelme süreleri takip edilir.
- Önce iri taneler sonra inceler çökelecektir.



### Hidrometre Analizi



- Hidrometre hazırlanan süspansiyonun içine batırılınca, battığı derinlik hidrometrenin ağırlığına karşı süspansiyonun uyguladığı kaldırma kuvvetinin birbirini dengelediği derinliktir.



- Hidrometre özel olarak yapılmıştır ve süspansiyonun üst seviyesi üzerinde kalan çubuk kısmının uzunluğu süspansiyon yoğunluğunun bir fonksiyonudur. Böylece değişik zamanlardaki süspansiyonun yoğunluğu hidrometre ile takip edilebilir.

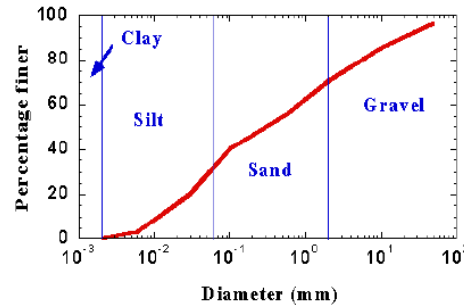
### Hidrometre Deneyi

- $W_s$  ağırlığıdaki zemin 1000ml hacmindeki derecelenmiş silindire konulur ve silindir su ilke doldurulur.
- Teknisyen veya özel bir alet silindiri hızla yukarı aşağı döndürerek sallar ve zemin su ile süspansiyon haline getirir.
- Zemin taneleri çökmeye başlar. Hidrometre süspansiyonun içine batırılır ve saat çalıştırılır.
- Değişik zamanlarda okuma alınır. Stoke's kanunu kullanılır. Stoke'a göre sıvı bir ortamda küresel bir parçacık yer çekimi kanununa uygun olarak düşer. Stoke çözümü hidrometre okumaları ile bağ kurularak uygulanır.

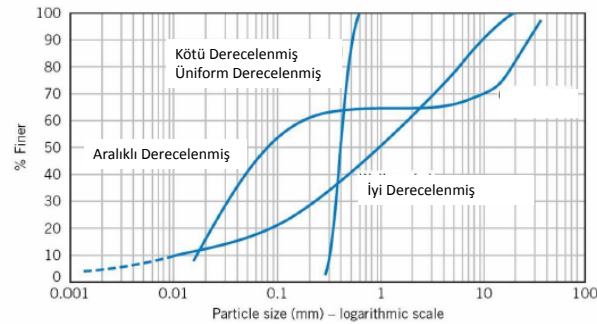


## Tane Çapı Dağılım Eğrileri

- Gerçek zeminler nadiren çakıl, kum silt , kil gibi tek bir zemin tipinden oluşmuştur. Bu yüzden zemindeki tane boyutlarının dağılımını ifade etmemiz gerekir. Bu gereksinim sonucunda tane çapı dağılımı yaklaşımı veya granülometri eğrileri ortaya çıkmıştır.
- Granülometri eğrisinde her tip zemine karşı gelen tane çapı aralığındaki zemin yüzdesi açık olarak görünür.



## Tane Çapı Dağılım Eğrileri



**Oldukça dik görünen granülometri eğrileri** farklı tane boyutlarının sadece bir kısmını içeren zeminlere aittir ve bunlar **kötü derecelenmiş zeminler** (veya üniform derecelenmiş zeminler) olarak adlandırılır.

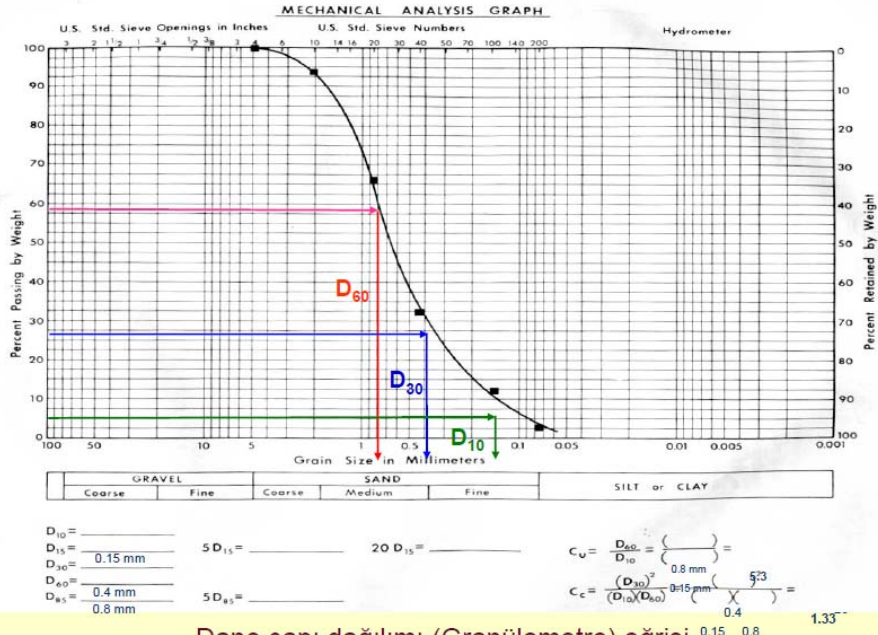
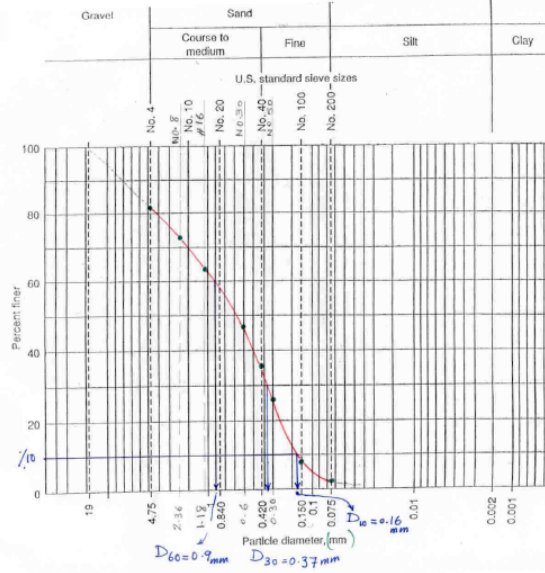
**Yatık eğriler** geniş bir tane boyutu aralığında yer alan bütün zemin cinslerini içerirler ve bunlar **iyi-derecelenmiş zeminler** olarak tanımlanır.

Bazı eğriler oldukça yatık olmakla birlikte bazı tane boyutlarını içermezler ve bunlar **aralıklı derecelenmiş** olarak tarif edilir.

## Tane Çapı Dağılım Eğrileri

Belli bir tane boyutundan daha küçük olan tanelerin yüzdesi eğriden okunabilir. Örneğin  $D_{10}$  ifadesi 10% geçene karşı gelir.

Aynı şekilde bir diğer önemli boyut tanımlaması  $D_{60}$  aynı anlayışla yapılır.



Dane çapı dağılımı (Granülometre) eğrisi

## Tane apı Dağılım Eğrileri

- Granülometri eğrisinin genel şekli ve eğimi **uniformluk katsayısı** ( $C_u$ ) ve **eğrilik katsayısı** ( $C_c$ ) ile ifade edilebilir:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10}D_{60}}$$

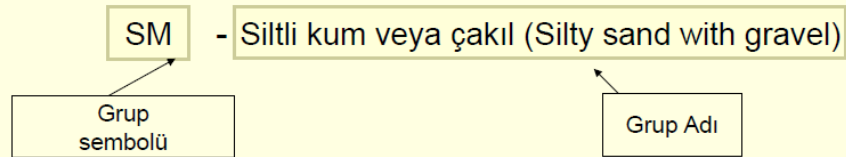
- $C_u < 4$  olan zemin uniform boyutta tanelerden oluşmuştur (yaklaşık olarak tek boyut aralığı).
- $C_u = 1$  aynı boyutta tanelerden oluşan zemindir.
- $C_u > 4$  iyi derecelenmiş zemin.
- İyi-derecelenmiş zeminler için,  $1 < C_c < 3$
- Eğer  $1 > C_c$  or  $3 < C_c$ , ise zemin aralıklı-derecelenmiş zemindir.
- $D_{10}$  zeminin **efektif** tane çapıdır.

## Zemin Sınıflandırma Sistemleri

- Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)
- Karayolları Zemin Sınıflandırma Sistemi (AASHTO)

## Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)

- Birleşik Devletler Ordusu tarafından oluşturulmuş bir sistemdir
- Method ASTM tarafından (ASTM D 2487) “*Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)*” olarak adlandırılmıştır
- USCS Geoteknik Mühendislerinin en sık kullandığı zemin sınıflandırma sistemidir.
- Tipik bir USCS sınıflandırması:

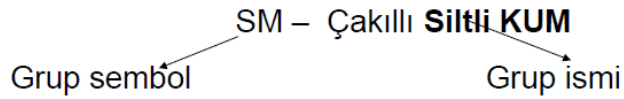


## Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)

- Arthur **Casagrande** 2. Dünya Savaşı sırasında ABD ordusu için yeni bir zemin sınıflandırma sistemi geliştirdi. (Casagrande, 1948). Bu tarihten sonra güncelleştirilen sistem standardize edilerek **ASTM D2487 Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi olarak (USCS)** zemin mekaniği uygulamalarının en yaygın kullanımlı ve geniş amaçlı sınıflandırma sistemi haline geldi.

### Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)

- Sistem iki harfli veya dört harfli grup sembolü kullanır.



Grup isminde zemin tipinin pozisyonu onun göreceli önemini ifade eder

Esas zemin tipi (kum)

Sifat= ikincil derecedeki bileşen (veya esas zemin tipini tanımlayan) (siltli)

“ile...” = ekiyle Üçüncül bileşen veya özellik eklenebilir (çakıllı, kokulu ve b.)

### Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)

- Semboller ve anlamları:
  - G – çakıl
  - S – kum
  - M – silt
  - C – kil
- Bu semboller granülometri özelliklerini ifade eden sembollerle birlikte kullanılabilir:
  - W – iyi derecelenmiş
  - P – kötü derecelenmiş
- Aynı şekilde plastisite özellikleri ile birlikte:
  - H – yüksek plastisite
  - L – düşük plastisite
  - O – organik malzeme içeriği



### Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)

CL = Düşük plastisiteli kil

SP = Kötü derecelenmiş kum

GW= İyi derecelenmiş çakıl

OL= Düşük plastisiteli organik silt veya kil

## İyi ve Kötü Derecelenmiş Zeminler

### İyi Derecelenmiş Zeminler

Geniş bir aralıkta dane çapı içerenler

**Çakıllar:**  $C_c = 1-3$  &  $C_u > 4$

**Kumlar:**  $C_c = 1-3$  &  $C_u > 6$

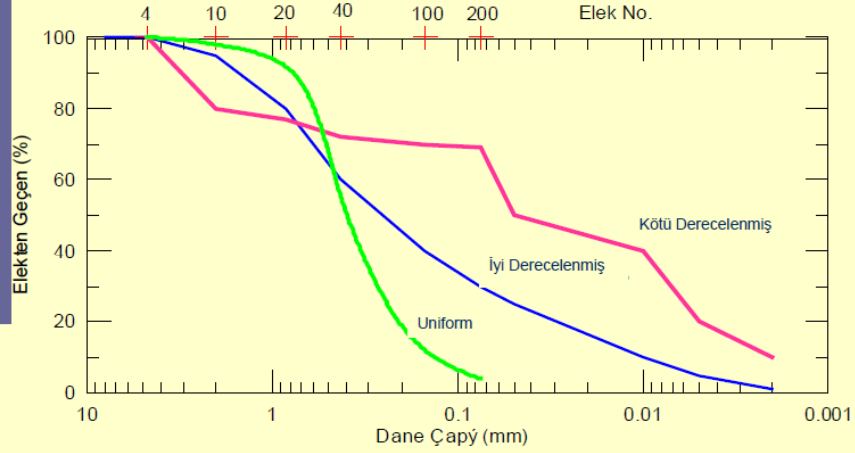
### Kötü Derecelenmiş Zeminler

İki farklı şekilde olabilir:

(a) **Üniform** zeminler – Danelerin büyük bir çoğunluğu küçük bir çap aralığında olan zeminler

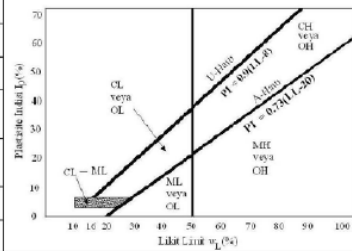
(b) Belirli bir boyut aralığında dane çapı içermeyen zeminler

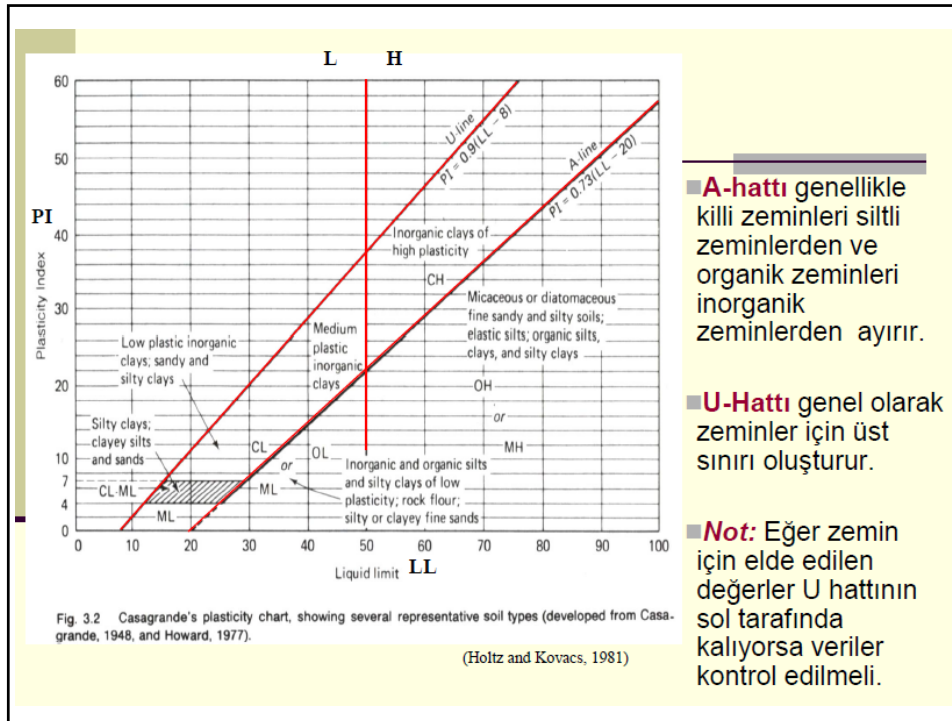
## Tabii Zeminlerin Dane Çapı Dağılımı



**TABLO 3.2- Birleşik Zemin Sınıflandırma (USC) Sistemi**

Ana Gruplar		Grup Sembolü	Zemin Cinsi	Laboratuvar Sınıflandırma Kriterleri	
İyi Dereceli Zeminler (No.200 Elekten Geçen >=%50)	Çakıllar (diğer kısmın No.4 Elekten Geçen % <=%35)	GW	İyi derecelenmiş temiz çakıllar ve çakıl-kum karışımları	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$ $\text{ve } C_c = \frac{D_{30}^2}{(D_{10})(D_{60})} = 1 - 3$ $C_u \leq 4 \text{ veya } C_c \neq 1-3$	
		GP	Kötü derecelenmiş temiz çakıllar ve çakıl-kum karışımları		
		GMI	Siltli çakıllar, çakıl-kum-silt karışımları		
	Kumlar (diğer kısmın No.4 Elekten Geçen % >=%35)	GC	Kıllı çakıllar, çakıl-kum-kil karışımları		
		SW	İyi derecelenmiş temiz kumlar, çakıllı kumlar		
		SP	Kötü derecelenmiş temiz kumlar, çakıllı kumlar		
İnce Daneli Zeminler (No.200 Elekten Geçen >=%50)	Siltli ve kıllı kumlar (No.200 Elekten Geçen >=%12)	SM	Siltli kumlar	$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 6$ $\text{ve } C_c = \frac{D_{30}^2}{(D_{10})(D_{60})} = 1 - 3$ $C_u \leq 6 \text{ veya } C_c \neq 1-3$	
		SC	Kıllı kumlar		
	Siltler ve killer	Düşük plastisiteli siltler ve killer ( $w_p < %40$ )	ML		Düşük plastisiteli inorganik siltler ve kıllı siltler
			CL		Düşük plastisiteli inorganik killer ve siltli killer
		Yüksek plastisiteli siltler ve killer ( $w_p > %40$ )	OL		Düşük plastisiteli organik siltler ve kıllı siltler
			MH		Yüksek plastisiteli inorganik siltler ve kıllı siltler
Organik Zeminler	Pt	CH	Yüksek plastisiteli inorganik killer ve siltli killer		
		OH	Yüksek plastisiteli organik killer ve siltler		
			Turba zeminler ve diğer organik zeminler		





■ **A-hattı** genellikle killi zeminleri siltli zeminlerden ve organik zeminleri inorganik zeminlerden ayırır.

■ **U-Hattı** genel olarak zeminler için üst sınırı oluşturur.

■ **Not:** Eğer zemin için elde edilen değerler U hattının sol tarafında kalıyorsa veriler kontrol edilmeli.

## Adlandırma

### ■ İnce Daneli Zeminler

#### İlk Harf

- M – Silt (Silt)
- C – Kil (Clay)
- O – Organik (Organic)

#### İkinci Harf

- L – Düşük Plastisite (Low plastic)
- H – Yüksek Plastisite (High plastic)

### ■ Kaba daneli Zeminler

#### İlk Harf

- S – Kum (Sand) graded)
- G – Çakıl (Gravel) graded)

#### İkinci Harf

- P – Kötü Derecelenmiş (Poorly)
- W – İyi Derecelenmiş (Well)

İyi – derecelenmiş zemin

$$1 < C_c < 3 \text{ and } C_u \geq 4$$

(çakıllar)

$$1 < C_c < 3 \text{ and } C_u \geq 6$$

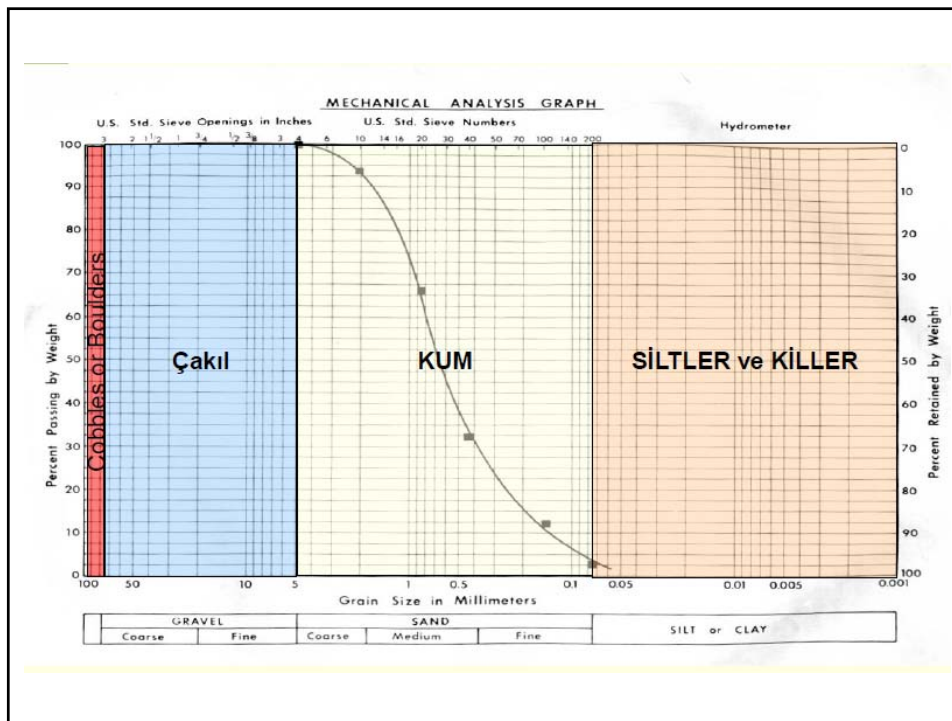
(kumlar için)

M – Siltli (Silty)

C – Killi (Clayey)

## Dane Çapı Dağılımının Belirlenmesi

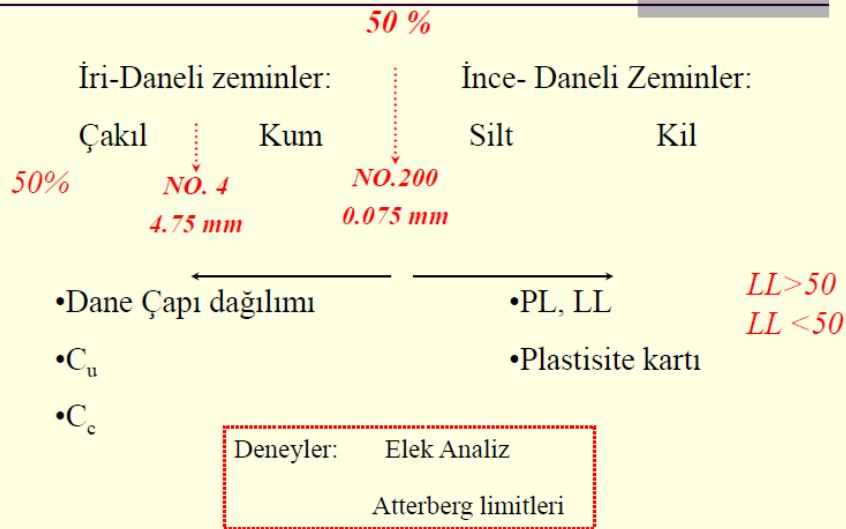
- Elek analizleri ve dane-çapı dağılımı eğrisinden aşağıdaki elekten geçen yüzdeler belirlenir:
  - > 76.2 mm (3 inch) – Taş ve Kayalar
  - 3 inch - # 4 (76.2 – 4.75 mm) : Çakıl
  - # 4 - # 200 (4.75 - 0.075 mm) : Kum
  - < # 200: İnce daneli zeminler
- Önce # 200 nolu elekten geçen % bulunur,
- Eğer zeminin %50'sinden fazlası 200 No'lu elek altına geçmişse, Atterberg Limit deneyleri yapılır (LL & PL) .



## Zeminlerin Sınıflandırılması

- Eğer zemin ince daneli bir zemin ise (yani zeminin %50'sinden fazlası 200 No'lu elek altına geçmişse) ince daneli zeminler için hazırlanan Plastisite kartından yararlanır
- Eğer zemin iri (kaba) daneli bir zemin ise (yani zeminin %50'sinden azı 200 No'lu elek altına geçmişse) İri daneli zeminler için hazırlanan prosedür izlenir.
  - Çakıl ve kum %'leri bulunur
  - $C_u$  &  $C_c$  hesaplanır
  - LL, PL ve PI değerleri belirlenir.

## İzlenen Yol



## Semboller

- **Zemin Sembolleri:** ■ **Likit limit Sembolleri :**
- G: Gravel -Çakıl ■ H: Yüksek LL (LL>50)
- S: Sand-Kum ■ L: Düşük LL (LL<50)
- M: Silt-Silt ■ **Dağılım Sembolleri :**
- C: Clay-Kil ■ W: Well-graded-iyi derecelenmiş
- O: Organic-Organik ■ P: Poorly-graded-Kötü derecelenmiş
- Pt: Peat-Turba

Example: SW, Well-graded sand

SC, Clayey sand

SM, Silty sand,

MH, Elastic silt

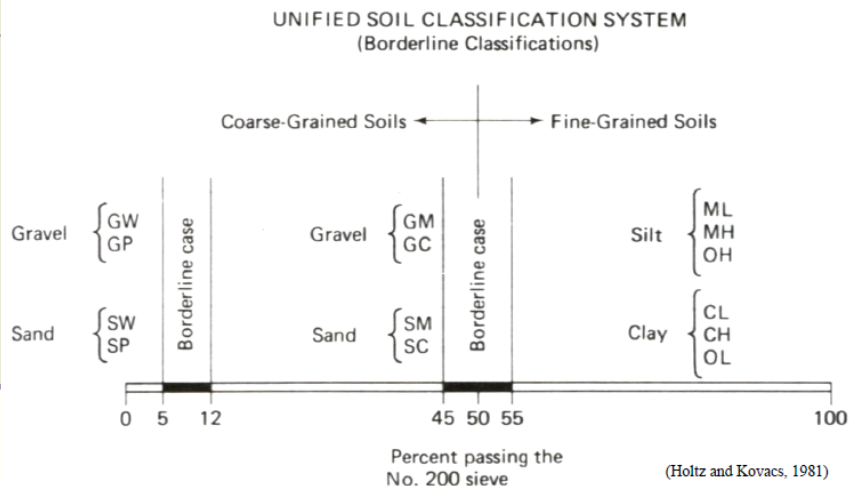
## Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi (USCS)

Zemin cinsi Veya bileşeni	Sembol	Boyut aralığı
Kaya parçası	-	>300 mm
Taş	-	75 mm – 300 mm
(1) İri daneli zeminler :		
Çakıl	G	75 mm- 4.75 mm
İri		75 mm – 19 mm
İnce		19 mm – 4.75 mm
Kum	S	4.75 mm – 0.075 mm
İri		4.75 mm – 2.0 mm
Orta		2.0 mm – 0.425 mm
İnce		0.425 mm - 0.075 mm
(2) İnce daneli zeminler		< 0.075 mm
Silt	M	Sınıflandırma dane çapına göre değil
Kil	C	Atterberg Limitleri kullanılarak yapılır
(3) Organik Zeminler	O	
(4) Turba	Pt	
Derecelenme Sembolleri		Likit Limit Sembolleri
İyi derecelenmiş, W		Yüksek LL, H
Kötü derecelenmiş, P		Düşük LL, L

## Çift Sembol

- Aşağıdaki üç durumda çift sembol kullanılmalıdır.
  - 200 No'lu elek altına geçen miktarı 5% - 12% olan kaba daneli zeminler.
    - %7 civarında ince dane kaba daneli zeminlerin hidrolik iletkenliğini değiştirebilmektedir.
    - İlk Sembol zeminin iyi mi kötü mü derecelendiğini, ikinci sembol ise ince dane içeriğini belirtmektedir. Mesela: SP-SM, Kötü derecelenmiş siltli kum olarak tanımlanmıştır.
  - Ara bölgede kalan ince daneli zeminler (Plastisite indisleri 4 ve 7 arasında ve Likit Limit değerleri 12 ve 25 arasında olan zeminler).
    - Siltli ve daha çok kile benzeyen malzemeleri ayırmak zordur.
    - CL-ML: Siltli kil, SC-SM: Siltli, Killi kum.
  - Benzer şekilde ince ve kaba daneler içeren zeminler.
    - Mümkün çift semboller GM-ML

## Sınır Durumlar



Note: Only two group symbols may be used to describe a soil.  
Borderline classifications can exist within each of the above groups.

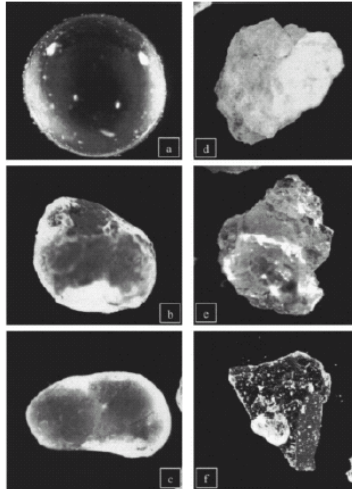
**Örnek**

**200 No'lu elekten geçen =% 30      LL= 33**  
**4 No'lu elekten geçen = %70      PI= 12**  
**(4 No'lu elekten geçen >%50)**

IRI DANELİ ZEMİNLER Mazeminin %50'den fazlası 30 No'lu elekten geçmez ve 75 µm'den büyüktür.	İn kısmın %50'den fazlası 4 No'lu elekten geçmez ve 75 µm'den büyüktür.	İyi derecelenmiş temiz çakıllar (No.200 Elek altı-%5)	GW	No 200'den geçen=5 GW/GP/SW ve SP No 200'den geçen > 5 GM/GC/SM ve SC No 200'den geçen 5-12 ise çift sembol kullanılır.	Cu > 4 ve Cc=1-3
		Kötü derecelenmiş temiz çakıllar (No.200 Elek altı-%5)	GP		Koşulların GW'yi sağlamadığı durumlar
		Siltli çakıllar (No.200 Elek altı-%12)	GM		4<p<7 ve A hattinin altında
		Killi çakıllar (No.200 Elek altı-%12)	GC		Ip>7 ve A hattinin üstünde
		İyi derecelenmiş temiz kumlar (No.200 Elek altı-%5)	SW		Cu > 6 ve Cc=1-3
		Kötü derecelenmiş temiz kumlar (No.200 Elek altı-%5)	SP		Koşulların SW'yi sağlamadığı durumlar
		Siltlikumlar (No.200 Elek altı-%12)	SM		4<p<7 ve A hattinin altında
		Killi kumlar (No.200 Elek altı-%12)	SC		Ip>7 ve A hattinin üstünde
		İnce kumlar, kaya unu, siltli veya killi kumlar veya killi siltler	ML		
		Düşük ve orta Plastisiteli inorganik killler, kumlu, çakıllı ve siltli killler	CL		
Düşük plastisiteli organik silt ve organik siltli killler	OL				
İNCE DANELİ ZEMİNLER Mazeminin %50'den fazlası 200 No'lu elekten geçmez ve 75 µm'den büyüktür.	Siltler ve killiler LL < %50	Inorganik siltler, mikali ve diatomik ince kumlu veya siltli zeminler, elatik siltler	MH	Cassagrande Plastisite Kartı	
		Yüksek plastisiteli inorganik killler, yağlı killler	CH		
Siltler ve killiler LL > %50	Orta veya yüksek çlplastisiteli organik killler, siltler	OH			
	Hayli Organik Zeminler Turba ve diğer hayli organik zeminler	Pt			

## Tane şekli

- Silt, kum, ve çakıl tanelerinin şekli çok köşeli ile yuvarlak arasında değişkendir.
- Köşeli taneler genellikle ana kaya civarında bulunurlar.
- Yuvarlak taneler ise genellikle daha uzaklarda bulunurlar ve taşınma sırasında aşınmışlardır.



Microphotographs showing various grain shapes of soil particles (Cho et al. 2006). (a) glass beads (b) and (c) ASTM 20/30 sand  $D \approx 0.6\text{mm}$ ; (d) Ticino sand  $D = 0.33\text{mm}$ ; (e) crushed granite  $D = 0.35\text{mm}$ ; and (f) fine particle from crushed granite  $D \approx 0.08\text{mm}$ .



## Tane şekli

- **Köşeli taneler düzgün olanlardan daha büyük kayma mukavemetine** sahiptir, çünkü birbirleri üzerinden kaymaları daha zordur.
- Bu yüzden otoyol dolguları altında agrega türü malzeme kullanılır. Çok köşeli ve kırmataş olarak ta adlandırılan agregalar genellikle kayaların kırılması ile elde edilir.
- Kil tanelerin şekil özellikleri bütünüyle farklıdır.

## Organik Zeminler

### **Yüksek derecede organik zeminler- Turba (Grup Sembolü - Pt)**

–İçerisinde önemli miktarda bitkisel lifli ve şekilsiz malzemeler içeren, koyu-kahverengi siyah renk aralığında olan organik içerik nedeniyle kötü kokulu zeminlerdir,(Pt).

### **Organik kil ve silt (grup sembolü OL or OH):**

–“Zemine ait likit limit değeri (LL) numune etüvde kurutulmadan önce elde edilen likit limit değerinden %75’inden daha az olduğunda zemin için ilk sembol “O” olmalıdır.

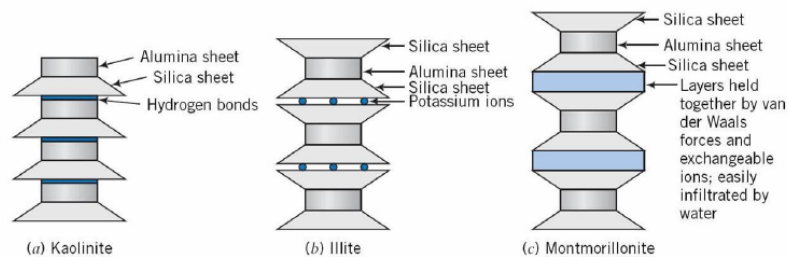
–İkinci sembol ise zemine ait plastisite indisi ve likit limit değerlerinin (PI ve LL)(etüvde kurutulmadan) plastisite kartındaki yerine bağlıdır.

## Kil Zemin

- Silt , kum ve çakıl zeminler fiziksel veya önemsiz derecede kimyasal aşınma sonucunda oluşmuşlardır. Bunun sonucu olarak ana kayanın kimyasal yapısını büyük ölçüde korurlar.
- Yoğun kimyasal aşınma etkisi ile oluşmuş olan kil zeminlerde durum aynı değildir. Bunlar ana kayadan neredeyse tamamen farklı bir kimyasal yapıya sahip olmuşlardır.
- Bu durum killerin mühendislik özellikleri ve davranışının diğer zeminlerden farklı olmasına yol açar.

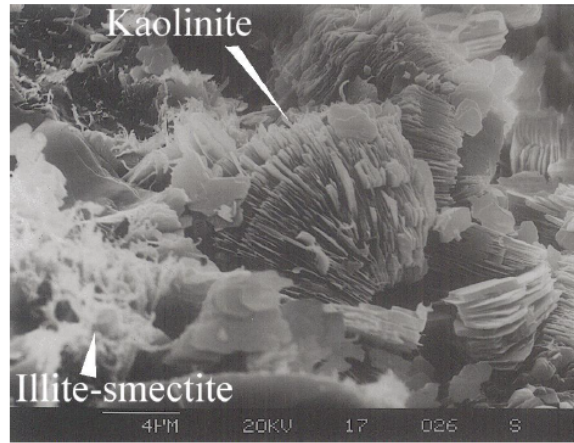
## Kil Zeminler

- Kil tabakaları onlarca farklı kil mineralini oluşturacak şekilde farklı kil minerallerinin değişik kombinasyonu ile oluşmuştur. Bunun sonucunda her mineralin kendine özel kimyası ve yapısı ortaya çıkar. En tipik üç kil minerali kaolen, illit ve montmorillonittir.

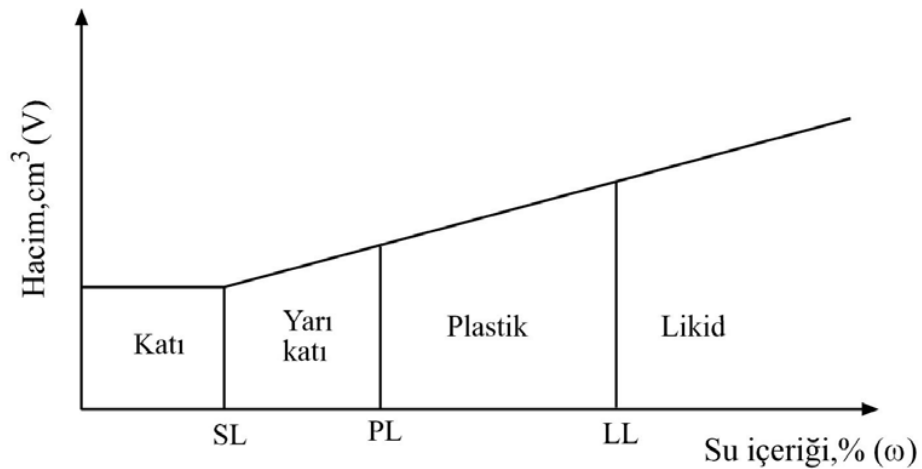


### Kilimin Özelliği

- Tek tek kil taneleri çok küçüktür. (çapları  $2\mu\text{m}$  ( $2 \cdot 10^{-6}\text{m}$ ) den daha azdır). Küçük tane çapı ve tabaka veya kağıt gibi şekli sebebiyle, yüzey alanının kütleye veya hacme oranı çok büyüktür. Bu oran özgül yüzey olarak adlandırılır. (montmorillonit'in özgül yüzeyi  $800\text{m}^2/\text{g}$  civarındadır, bu da bu kilin  $3.5\text{g}$ 'nın özgül yüzeyinin bir futbol sahasının alanına eşit olması demektir).

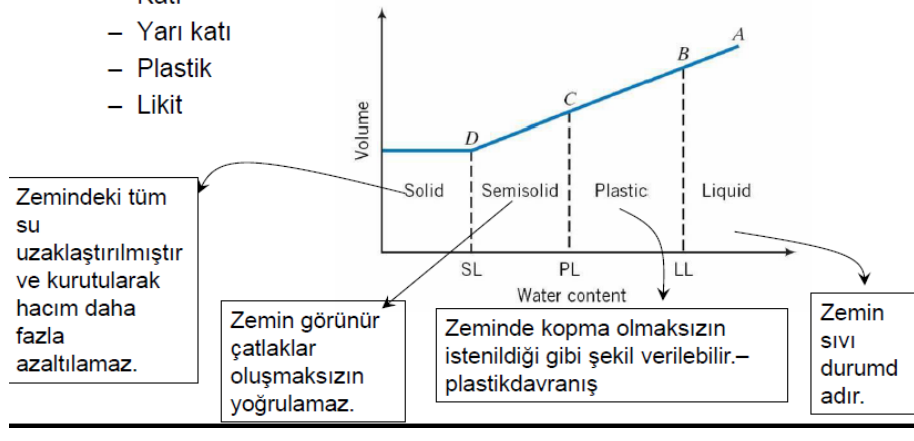


### Zeminlerde hacim ve su içeriği ilişkisi



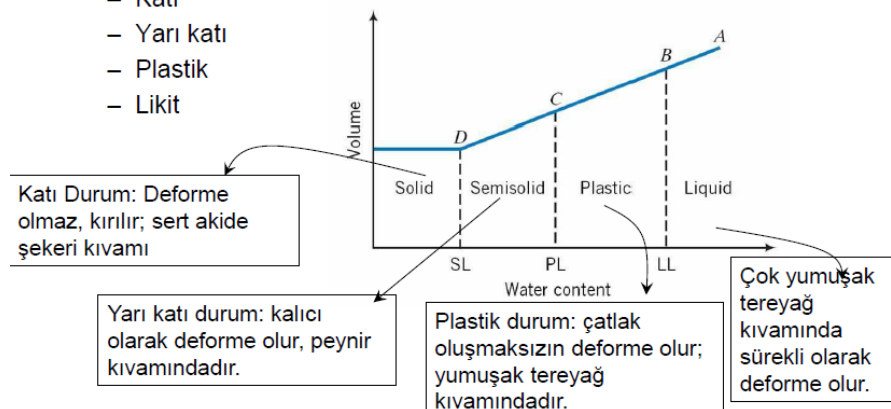
## İnce Taneli Zeminlerin İndeks Özellikleri

- İnce taneli zeminlerin fiziksel ve mekanik özellikleri su muhtevasına bağlı olarak 4 farklı durumda bulunabilirler;
  - Katı
  - Yarı katı
  - Plastik
  - Likit

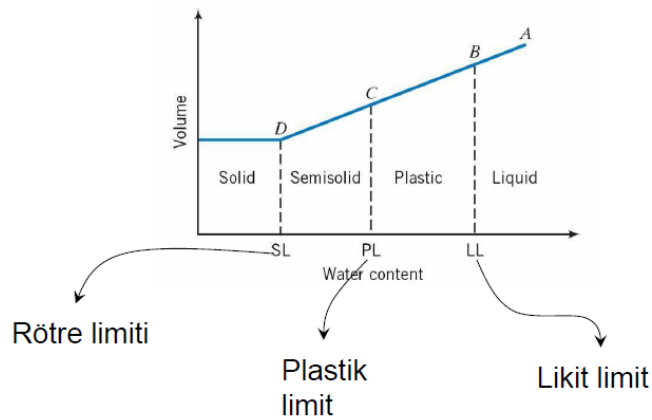


## İnce Taneli Zeminlerin İndeks Özellikleri

- İnce taneli zeminlerin fiziksel ve mekanik özellikleri su muhtevasına bağlı olarak 4 farklı durumda bulunabilirler;
  - Katı
  - Yarı katı
  - Plastik
  - Likit



## İnce Taneli Zeminlerin İndeks Özellikleri



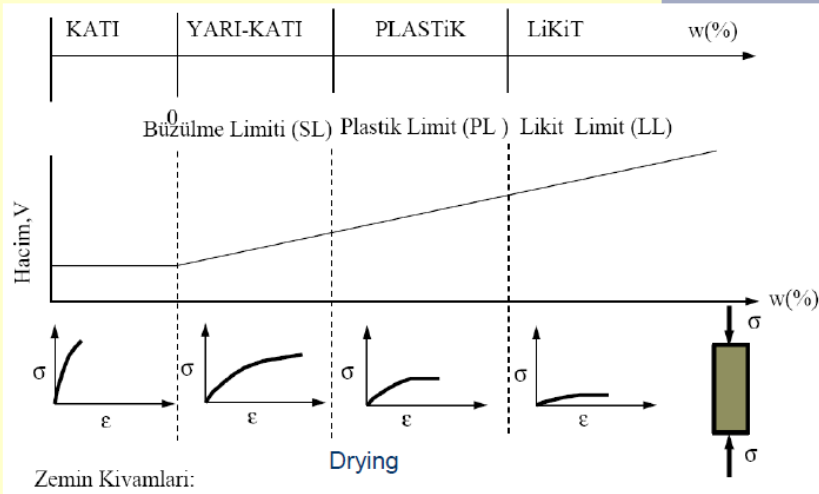
### İnce taneli zeminlerin indeks özellikleri– Atterberg limitleri

- Likit Limit(LL) ve Plastik Limits (PL) **Atterberg limitleri** olarak adlandırılırlar. Bu isim bunları bulan İsveçli bilim adamı, A. Atterberg (1911) onuruna verilmiştir.
- Atterberg limitleri yardımıyla mühendisler zeminin plastisitesi ve değişik su muhtevalarındaki kıvam durumu hakkında sayısal değerlendirme yapabilirler.

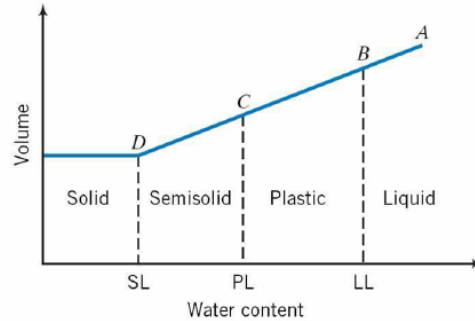
## Atterberg (Kıvam) Limitleri

- Likit Limit (LL)
  - Zemin malzemesinin akıcı (viskoz sıvı) kıvamdan plastik kıvama geçtiği sınır su muhtevası
- Plastik Limit (PL)
  - Zemin malzemesinin plastik kıvamdan yarı plastik kıvama geçtiği sınır su muhtevası
- Rötire Limiti (SL)
  - Zemin malzemesinin plastik kıvamdan katı kıvama geçtiği sınır su muhtevasıdır

## İnce Daneli Zeminlerin Kıvamı



## İnce Taneli Zeminlerin İndeks Özellikleri



Zeminin plastik davrandığı su muhtevası aralığı **plastisite indeksi**, PI:

$$PI = LL - PL$$

**Likitlik indeksi**, LI, zeminin şu andaki su muhtevasını,  $w$ , Atterberg limitleri ile karşılaştırır.

$$LI = \frac{w - PL}{PI}$$

## İnce Taneli Zeminlerin İndeks Özellikleri

Değişik plastisite indeksine sahip zeminlerin özellikleri (Sowers, 1979)

Plasticity Index, PI	Classification	Visual-Manual identification of dry sample
0 - 3	Nonplastic	Falls apart easily
3 - 15	Slightly plastic	easily crushed with fingers
15 - 30	Medium plastic	difficult to crush with fingers
> 30	Highly plastic	impossible to crush with fingers

### Description of soil state

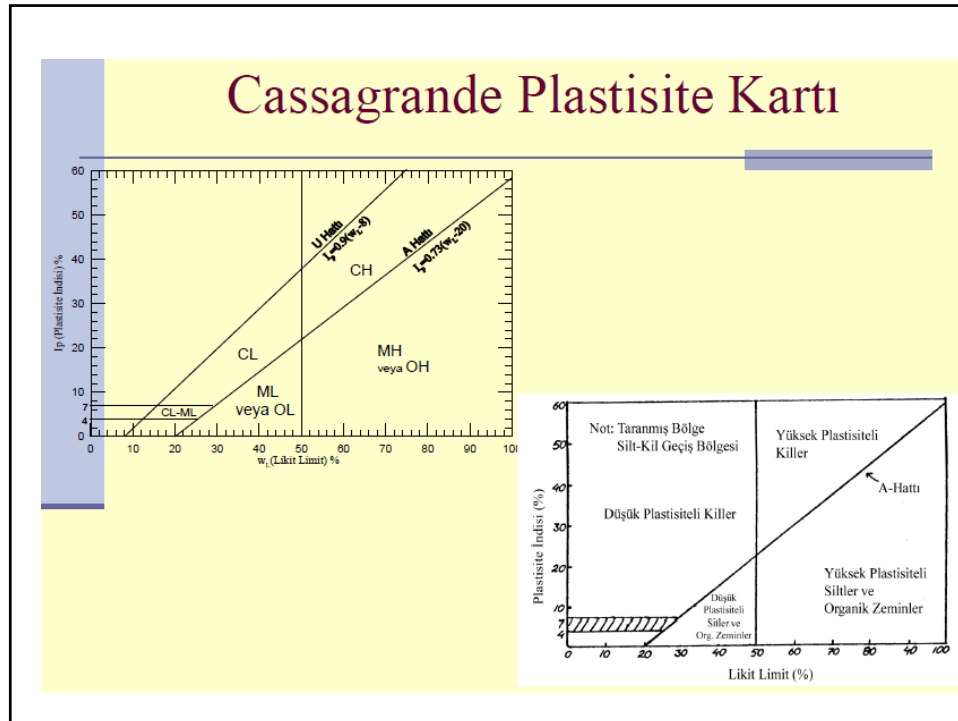
Liquidity Index, LI	Description of soil state
< 0	Semisolid state
0 < LI < 1	Plastic state
> 1	Liquid state

- Su muhtevası Siltli ve Killi zeminlerin özelliklerini etkilemektedir. (Kum ve çakıllı zeminlerin aksine)
  - Su muhtevası arttıkça mukavemet azalır,
  - Su muhtevası arttıkça zeminlerde şişme artar,
  - İnce daneli zeminlerin çok yüksek su muhtevalarında özelliklerini yitirerek bir sıvı gibi davranır,
  - Su muhtevası azaldığında zemin hacmi azalır ve zemin plastik bir davranış gösterir,
  - Su muhtevası daha da azaldığında zemin, hacim değişimi davranışı göstermediği yarı-katı kıvama gelir.

## İnce Daneli Zeminlerin Sınıflandırılması

- Sınıflandırma sistemi “İnce daneli zeminleri” # 200 nolu elek altına geçen tüm malzeme olarak adlandırmaktadır. (<0.075mm)
- Silt ve killeri tanımlarken aralarındaki farkı sadece dane boyutları ile ilişkilendirmemek gerekir çünkü aralarındaki en büyük fark dane boyutları değil yapılarındaki fiziksel ve kimyasal farklılıklardır.
- Silt ve killeri ayırmanın en pratik ve ucuz yolu kıvam değerlerinin belirlenmesidir.
- Plastisite özelliği önemlidir çünkü, zeminin değişen su muhtevası değerlerindeki davranışını tanımlamaktadır





## Atterberg limitlerinin bulunması

- 1911 yılında Albert Atterberg su muhtevası ile zeminin kıvamı arasındaki ilişkiyi bulmak üzere deneyler geliştirdi.
- 1930'larda Terzaghi ve Casagrande bu deneyleri İnşaat Mühendisliği amaçları için kullanmak üzere uyarladı.
- Kıvam limitlerini tayin etmek üzere yapılan deneyler 3 grupta tanımlanabilir:
  - Likit limit deneyi
  - Plastik limit deneyi
  - Rötire limiti deneyi
- Bu deneyler Atterberg limit deneyleri olarak adlandırılır.
- Zemin araştırmalarında likit limit and plastik limit deneyleri rutin olarak yapılır, ama rötire limiti deneyleri gerekliyse yapılır.

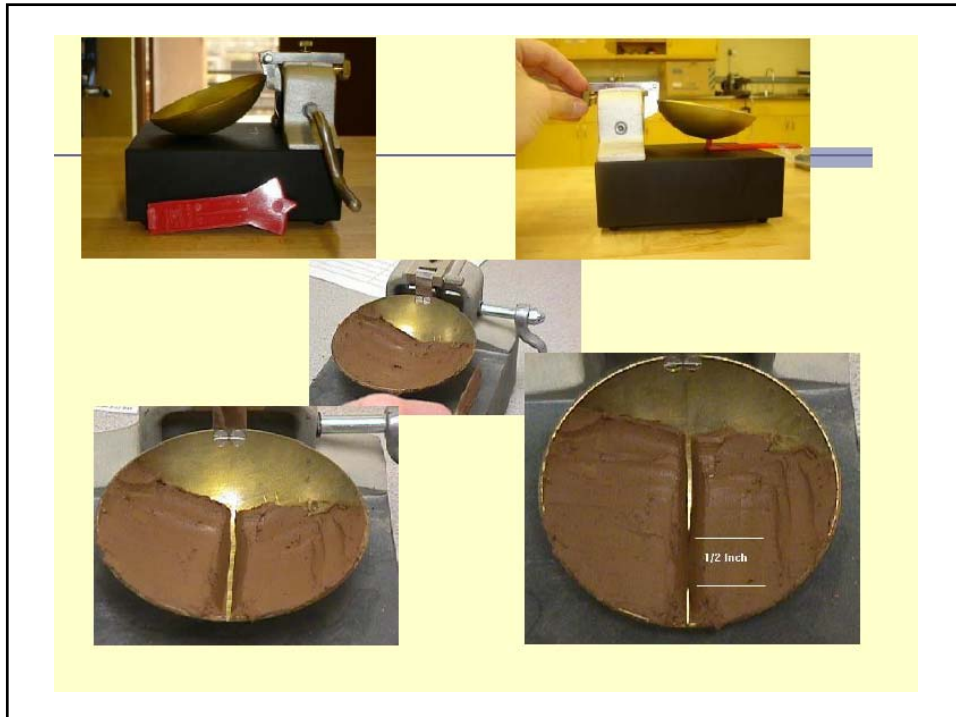
## Atterberg limitleri deneyleri

### Likit Limit Deneyi

- Likit limit deneyi için kullanılan likit limit aleti Casagrande tarafından geliştirilmiştir.

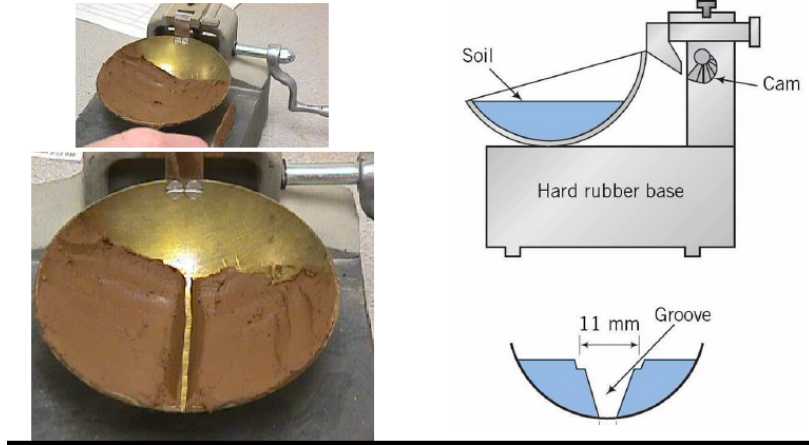


■ ASTM D 4318



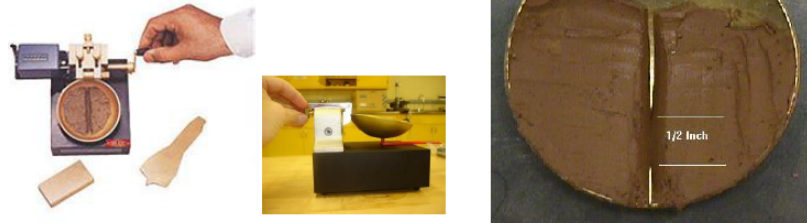
## Atterberg limitleri deneyleri Likit Limit Deneyi

- Zemin nümunesi kaba yerleştirilir ve içinde standart bir oyuk açma aleti ile oyuk açılır.



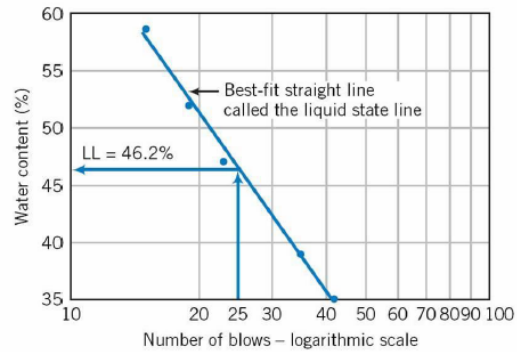
## Atterberg limitleri deneyleri Likit Limit Deneyi

- Kap yanındaki kol vasıtasıyla 1 cm. yükseklikten tekrar tekrar düşürülür ve oyuğun 1,25 cm boyunca kapanmasını sağlayan vuruş sayısı bulunur.



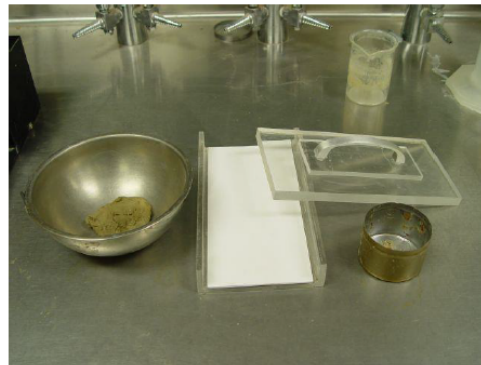
## Atterberg limitleri deneyleri Likit Limit Deneyi

- Zemin alınır ve su muhtevası bulunur.
- Deney değişik su muhtevalarında tekrarlanır, "su muhtevası-vuruş sayısı" grafiği elde edilir.
- Tanım olarak, oyuğun 1,25 cm. boyunca kapanması için 25 vuruşun gerektiği su muhtevası değeri likit limit değeri olarak belirlenir.



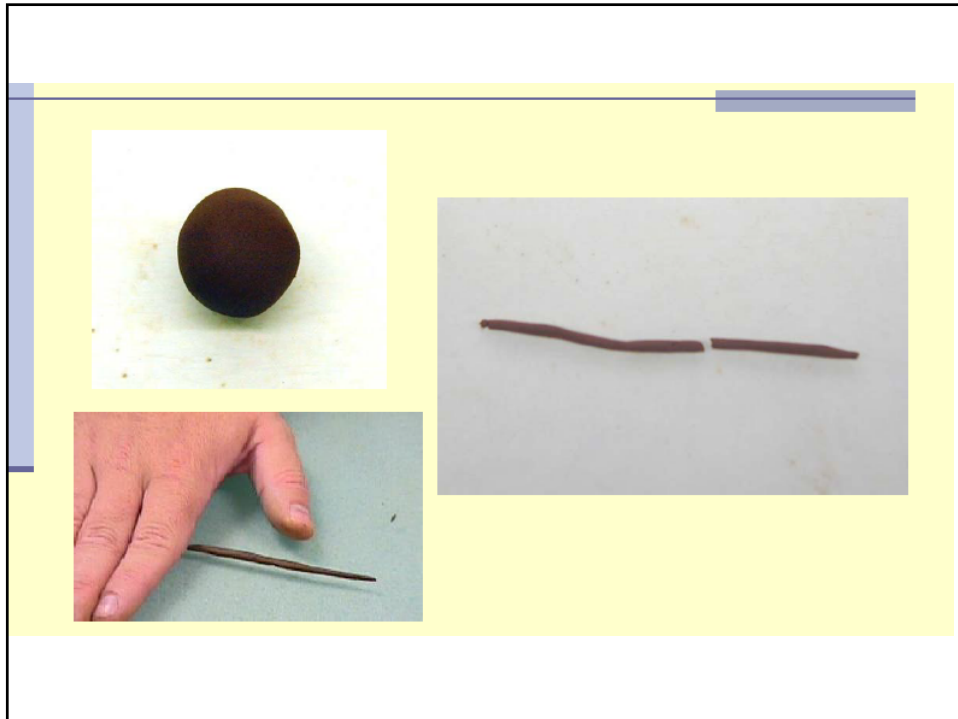
## Atterberg limitleri deneyleri <sup>Çi</sup> Plastik Limit Deneyi

- Plastik limitin belirlenmesi için zemin damıtık su ile karıştırılarak küreler halinde yuvarlanabildiği plastiklik seviyesi elde edilmeye çalışılır.



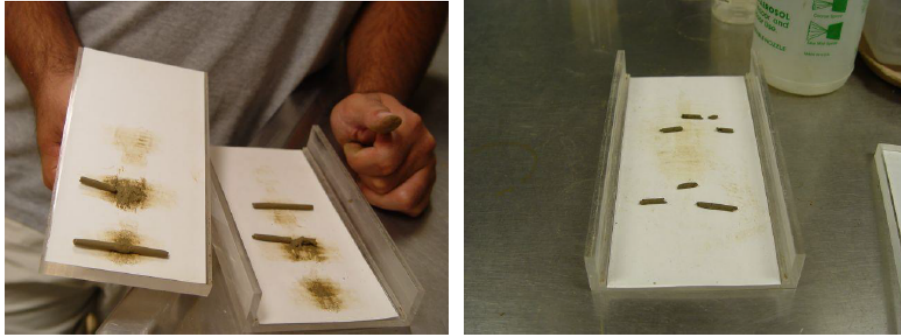
## Atterberg limitleri deneyleri Plastik Limit Deneyi

- Zemin ince silindir halinde yuvarlanır ve cam bir düzlem üzerine konulur. Bu silindir çapı 3 mm'ye düşüncüye kadar inceltilmeye çalışılır.



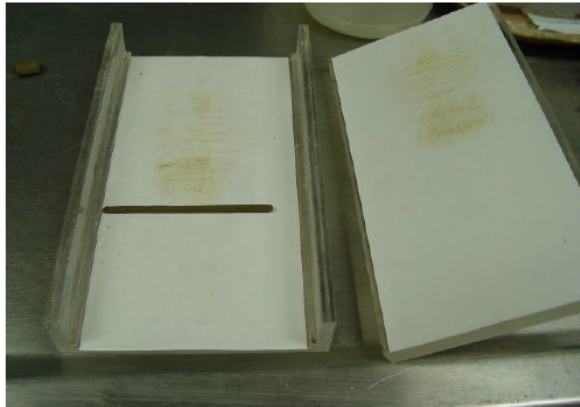
## Atterberg limitleri deneyleri Plastik Limit Deneyi

- Eğer su muhtevası plastik limitten azsa 3 mm' ye ulaşmadan önce silindir kırılır ve ufalanır, eğer plastik limitten fazlaysa, 3mm den daha küçük çaplara inceltilir.



## Atterberg limitleri deneyleri Plastik Limit Deneyi

- Tanım olarak zeminin 3 mm çapında 7-8 cm uzunluğunda silindirler halinde inceltilmediği su muhtevası plastik limit değeridir.



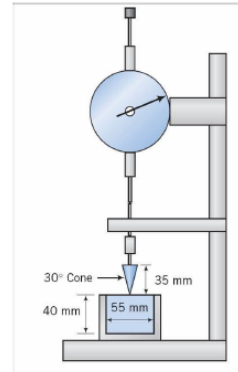
## Atterberg limitleri deneyleri Plastik Limit Deneyi

- Deney tanımdaki durumu yakalamak için yeterli sayıda tekrarlanır ve yakın durumların ortalaması plastik limit olarak tanımlanır.



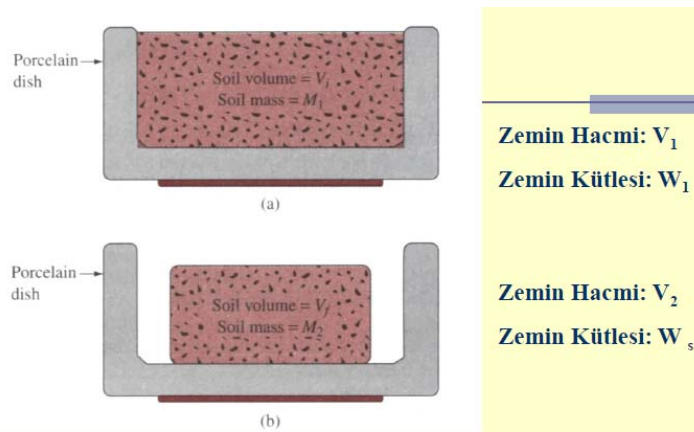
## Likit ve plastik limit için düşen koni deneyi

- Likit ve plastik limit değerleri düşen koni deneyi ile daha doğru olarak elde edilir. Deneyde asılı durumdaki koni serbest düşüşle zemin yüzeyine düşürülür ve batma miktarı likit ve plastik limit değerlerini elde etmek için kullanılır.



## Rötre Limiti

- Zeminin katı gevrek kıvamdan yarı plastik kıvam geçtiği su muhtevası değeridir.
  - Deneysel olarak likit limit kıvamında hazırlanan (40 No'lu elek altı) zemin numunesi rötre kabına yerleştirilerek 6-8 saat oda sıcaklığında bekletildikten sonra tartılır etüve konur. Kurutulan numune tartılır ve civa dolu bir kaba batırılarak hacmi belirlenir.



$$SL = w_l(\%) - \Delta w(\%)$$

$$w_s = \left[ \frac{W_1 - W_s}{W_s} - \frac{\gamma_w (V_1 - V_2)}{W_s} \right] \times 100$$



## Kıvam Limitlerinin Mühendislikte Kullanımı

- Zeminin tabii su muhtevasının kıvam limitleri ile karşılaştırılması bize kayma mukavemeti hakkında fikir vermektedir.

- **Plastisite İndisi**

$$I_p = w_L - w_p$$

- **Likitlik İndisi**

$$I_L = \frac{w - w_p}{I_p}$$

- **Relatif Konsistans**

$$I_c = \frac{w_L - w_n}{I_p}$$

## Tabii Killerin Kıvamı

Tabii killerin arazi koşullarındaki kıvamı yumuşak, orta katı, çok katı ve sert gibi terimlerle ifade edilmektedir. Katılık derecesinin ölçüsü olarak ise genellikle serbest basınç mukavemeti kullanılmaktadır .

Killerin katılık derecesi ile serbest basınç mukavemeti (silindirik bir zemin numunesinin yalnızca aksenal doğrultuda yüklenmesi sonucu kırıldığı gerilme değeri) arasındaki ilişki gösterilmiştir.

Serbest Basınç Mukavemeti $q_u$ (kN/m <sup>2</sup> )	Katılık Derecesi
<25	Çok yumuşak
25-50	Yumuşak
50-100	Orta katı
100-200	Katı
200-400	Çok katı
>400	Sert

## Aktivite katsayısı

$$A = \frac{I_p}{\text{Kil yüzdesi}(\leq 0.002\text{mm})}$$

Kil Cinsi	Aktivite Katsayısı
-----------	--------------------

Table 10.4 Activities of Various Clay Minerals.

Mineral	Activity*
Smectites	1-7
Illite	0.5-1
Kaolinite	0.5
Halloysite (2H <sub>2</sub> O)	0.5
Halloysite (4H <sub>2</sub> O)	0.1
Attapulgit	0.5-1.2
Allophane	0.5-1.2

Yüksek Aktivite:

- Islandığında yüksek hacimsel değişimleri
- Kurduğunda büyük büzülme değerleri
- Çok aktif (Kimyasal açıdan)

## Tipik Atterberg Limit Değerleri

Table 10.1 Atterberg Limit Values for the Clay Minerals.

Mineral <sup>a</sup>	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Shrinkage Limit
Montmorillonite	100-900	50-100	8.5-15
Nontronite	37-72	19-27	
Illite	60-120	35-60	15-17
Kaolinite	30-110	25-40	25-29
Hydrated Halloysite	50-70	47-60	
Dehydrated Halloysite	35-55	30-45	
Attapulgit	160-230	100-120	
Chlorite	44-47	36-40	
Allophane (undried)	200-250	130-140	

(Mitchell, 1993)

## Görsel– dokunarak Zemin sınıflandırması

- Tek tek kum taneleri çıplak gözle ayırt edilebilir, fakat silt edilemez.
- #200 elek çapından büyük taneler sert yapıya sahiptir, küçük olanlar macunumsu ve yumuşaktır.
- Kil ve silt taneleri birbirlerine yapışarak, kuma benzer boyut ve görünüm kazanabilir. Bu yumaklar ıslatıldığı zaman suda dağılır. Bu yüzden sınıflandırma yapmadan önce zemini ıslatmak yararlıdır.
- Killer arazide kuru iken daha büyük mukavemete sahiptir, fakat ıslatıldıkları zaman bu mukavemeti önemli ölçüde kaybederler.
- Islak killer parmaklar arasında 5 mm çapında iplikler halinde inceltilir.
- Kalsiyum karbonat gibi çimentolaştırıcı maddeler kum veya silt zeminlerin içinde bulunabilir. Bu ajanlar zemine içinde kil olmasa bile yüksek bir kuru mukavemet kazandırabilir. Durumun değerlendirilmesi için gereken yine sınıflandırma yapmadan önce zemini ıslatmaktır. Çimentolanmış zeminler kuru mukavemetlerini ıslanınca da korurlar, halbuki killi zeminler ıslanınca yumuşarlar.
- Kum ele yapışmaz. Siltler elden silkelenerek uzaklaştırılabilir. Kil için eli yıkamak gerekir.