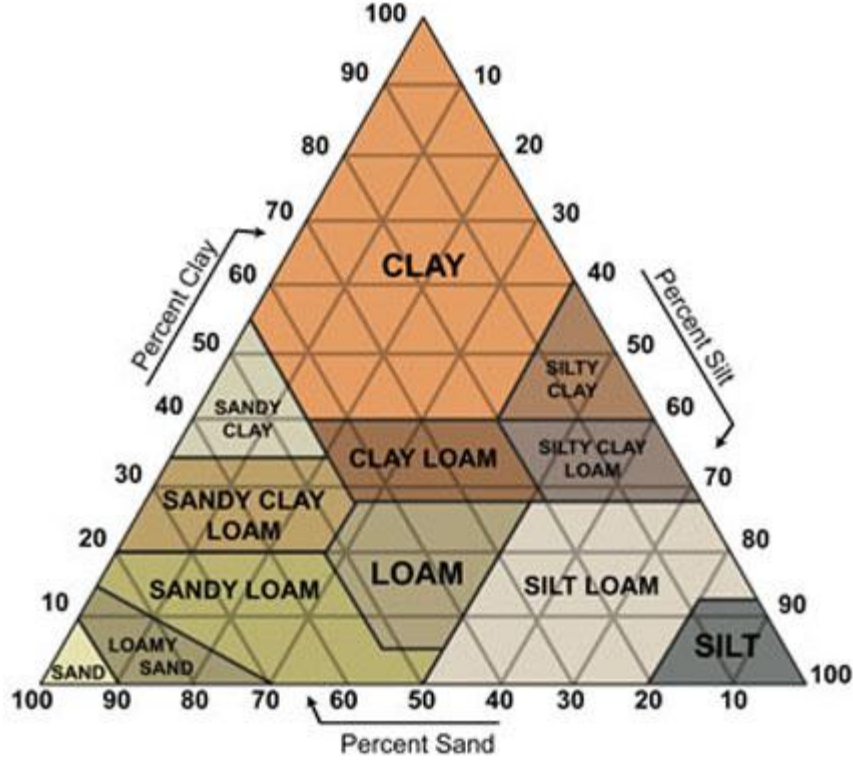


JFM 304
Zemin Sınıflama

2. ZEMİNLERİN SINIFLANDIRILMASI

USDA Sınıflama Sistemi

Genellikle zirai amaçlar için önerilmiş olan sınıflamada zemin tanelerinin boyut, şekil, özgül yüzey, su emme, plastiklik gibi fiziksel özellikleri esas alınmaktadır. Tane boyu dağılımına göre üçgen sınıflamadan elde edilen zemin grupları aşağıdaki şekilde belirtilmiştir.

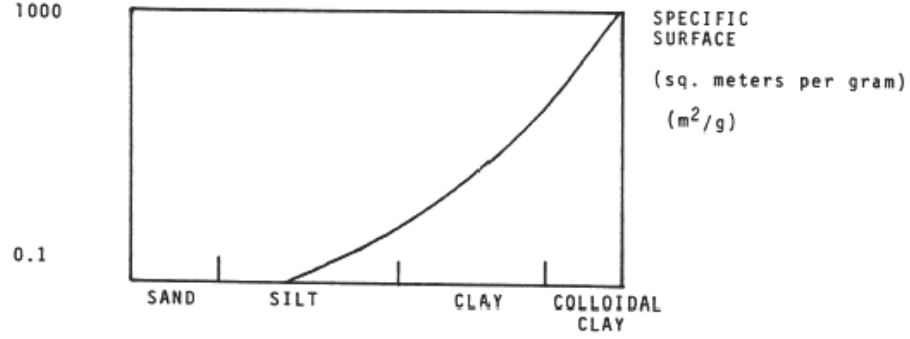


Grup	Tane çapı, mm
Çok iri Kum	2.0-1.0
İri Kum	1.0-0.5
Orta Kum	0.5-0.25
İnce Kum	0.25-0.10
Çok İnce Kum	0.10-0.05
Silt	0.05-0.002
Kil	<0.002

Ref : U.S. Dept. of Agriculture (1987)

Sınıflamadaki Zeminlerin Davranış Parametreleri

Özgül Yüze: Killerin kütlesi çok düşük, özgül yüzeyleri çok yüksektir. Kumlarda özgül yüze daha düşüktür.



Plastiklik: Zeminin yük altında şeklinde değişiklik olması ve yük kaldırılınca aynı şekli koruması.

Yapışkanlık: Killerin suyu adsorbe etme kapasitesi.

Görsellik: Zemin tanelerinin insan gözü ile seçilebilmesi.



Su Emme: Killi zeminler veya killerin suyu emme ve tutabilme kapasitesi.

Özellik	KUM	SİLT	KİL
Özgül Yüze	Küçük	Orta	Yüksek
Plastiklik	NP	NP-Az Plastik	Plastik-Çok Plastik
Yapışkanlık	Yapışkan Değil	Yapışkan Değil-Az	Yapışkan-Çok
Mineraloji	Kayaç Parçaları	-	Kil Mineralleri
Görsellik	Göz	İri taneler Lup İle	Elektron Mikroskop
Şekil	Yuvarlak	Düzensiz	Düz
Su emme	Düşük	Düşük-Orta	Yüksek
Boyut	2.0-0.05 mm	0.05-0.002 mm	<0.002 mm

Ref : U.S. Dept. of Agriculture (1987)

AASHTO Karayolları Sınıflama Sistemi

Özellikle yol inşaatlarında balast malzemesinin sınıflamasında kullanılır. A1-A7 arasında yedi ana grup zemin bulunmakta olup; rakamlar arttıkça zemin göreceli olarak zayıf konumdadır. Sınıflamada;

- Elek analizi (2 mm, 0.425 mm, 0.075 mm eleklerden geçen oranlar)
- Likid Limit, Plastik Limit, Plastisite İndeksi değerleri kullanılmaktadır.

GENEL SINIFLANDIRMA		Granüler Malzemeler (%35 veya daha azı 75µm altında)						Siltli-Killi Malzemeler (%35'ten fazlası 75µm altında)					
AASHTO ANA ve ALT ZEMİN GRUPLARI		A - 1		A - 3	A - 2				A - 4	A - 5	A - 6	A - 7	
		A - 1 - a	A - 1 - b		A - 2 - 4	A - 2 - 5	A - 2 - 6	A - 2 - 7				A - 7 - 5	A - 7 - 6
Elek Analizi	2,00mm (No.10) elekten % geçen	maks.50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,425mm (No.40) elekten % geçen	maks.30	maks.50	min.51	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	0,075mm (No.200) elekten % geçen	maks.15	maks.25	maks.10	maks.35	maks.35	maks.35	maks.35	min.36	min.36	min.36	min.36	min.36
Atterberg Limitleri	Likit Limit	-	-	-	maks.40	min.41	maks.40	min.41	maks.40	min.41	maks.40	min.41	min.41
	Plastisite İndeksi	maks.6	NP	NP	maks.10	maks.10	min.11	min.11	maks.10	maks.10	min.11	min.11	min.11
	S = LL - 30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	min.PI	maks.(PI - 1)
Açıklamalar	Malzeme Gruplarının Cinsleri	Taş kırıntıları.kum ve çakıl		İnce kum	Siltli veya killi çakıl veya kum				Siltli topraklar		Killi topraklar		
	Kullanılabilirlik Durumu	Çok iyi		İyi	Orta			Orta'dan zayıf'a kadar					
	Plastisite	Yok veya çok az	az	yok	yok veya orta		orta veya yüksek		az veya orta	az	yüksek	yüksek	yüksek
	Kapillarite	az	az	az	az veya orta	orta veya yüksek	az veya orta	orta veya yüksek	orta	yüksek	orta	yüksek	yüksek
	Elastisite	az	az	az	az	orta	az	orta	orta	orta veya yüksek	az	yüksek	az
	Islak stabilite	yüksek	iyi	orta	orta	az	orta	az	az	az	az	az	az
Kuru Stabilite	yüksek	iyi	orta (taçrittle)	orta	orta	orta	orta	orta	orta	orta	orta	az	yüksek

Zemin Tanımları

Moloz: Tane boyu 3 inch (75 mm) eleğin üstünde kalan kısım.

Çakıl: Tane boyu 3 inch ile 2 mm (10 no. nu elek) arasında kalan kısım.

Kaba Kum: Tane boyu 2 mm ile 0.425 mm (40 no.lu elek) arasında kalan kısım.

İnce Kum: Tane boyu 0.425 mm ile 0.075 mm (200 no. lu elek) arasında kalan kısım.

Silt ve Kil: 200 numaralı elek altında kalan kısım. Plastisite indeksi 10 ve az olanlar “Siltli”, yüksek olanlar “Killi” olarak adlandırılır.

Grup İndeksi

Zeminlerin plastiklik özelliğine ve tane boyuna göre tanımlanmış bir parametredir. İdeal sıkışma koşullarında zeminin taşıma kapasitesi grup indeksi ile ters orantılıdır. Özellikle üstyapı tabaka kalınlığı belirlenmesinde kullanılır. $GI > 20$ zayıf zemini işaret eder.

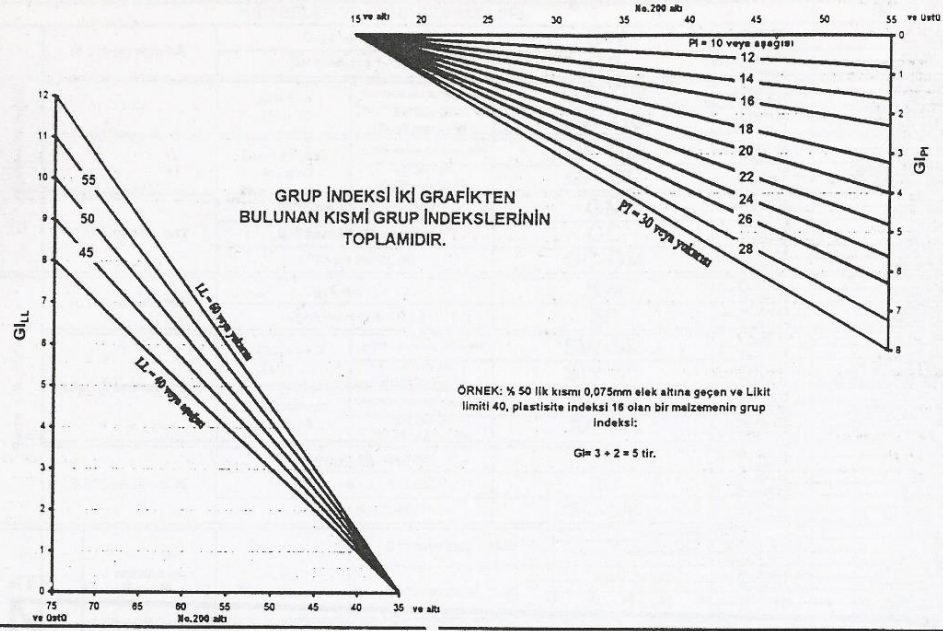
$$GI = (F-35)[0.2+0.005(LL-40)]+0.01(F-15)(PI-10)$$

F : 200 numaralı (0.075 mm) elekten geçen tane yüzdesi; LL: Likid Limit; PI: Plastisite İndeksi

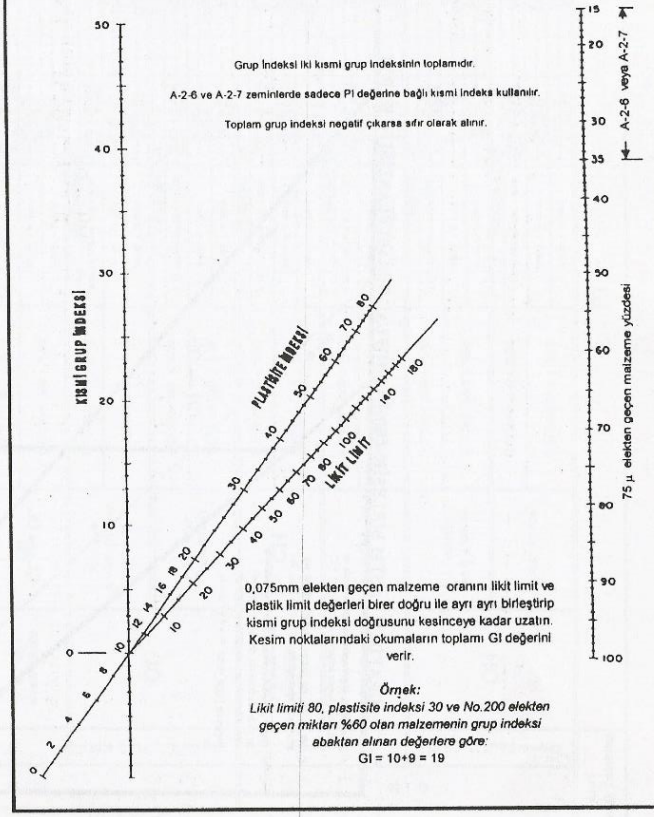
Örnek: 200 numaralı elekten geçen tane yüzdesi %90 olan A-7 zeminde $LL=80$, $PI=50$ ise;

$$GI=(90-35)0.2+0.005(80-40)+0.01(90-15)(50-10)=52$$

ABAK 1. MALZEME GRUP İNDEKSİ TESPİT ABAĞI



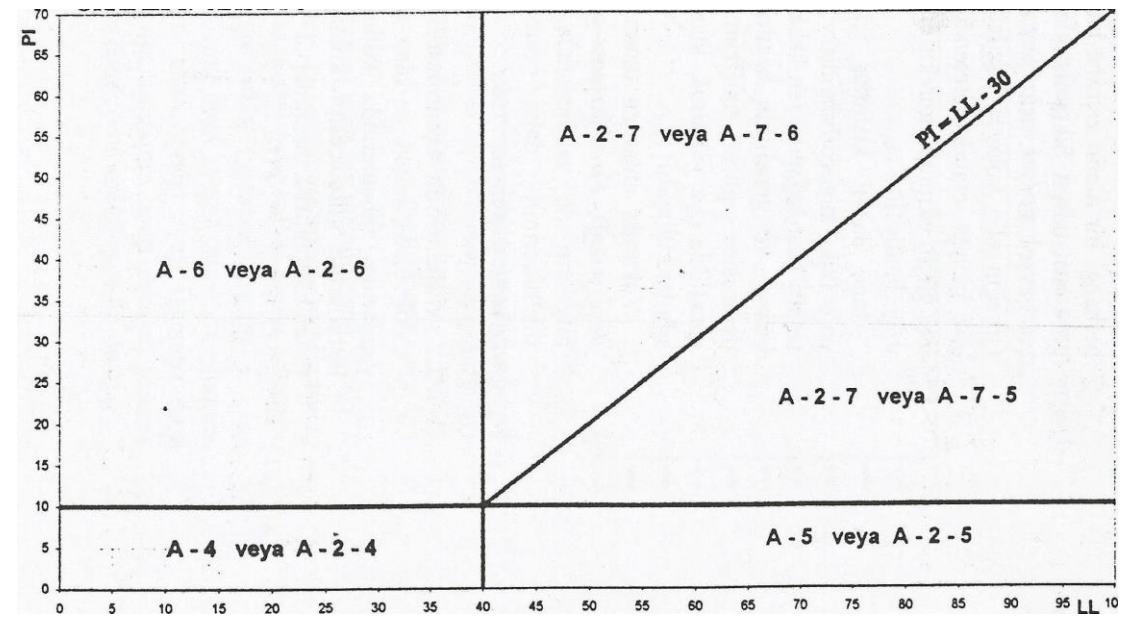
ABAK 2. MALZEME GRUP İNDEKSİ TESPİT ABAĞI



Notlar: A-1-a, A-1-b, A2-4, A2-5 ve A-3 türü zeminler trafik yüküne uygun üstyapı kalınlığı altında iyi taban malzemesidir.

A2-6, A2-7 (killi granüler zeminler) ve A-4, A-5, A-6 ile A-7 türü siltli-killi zeminler iyi kalite taban malzemesidir.

A-2-4 ve A-2-5 zeminler orta ile zayıf olup, kullanılmaları durumunda ilave üstyapı veya alttemel kalınlığı gerektirirler.



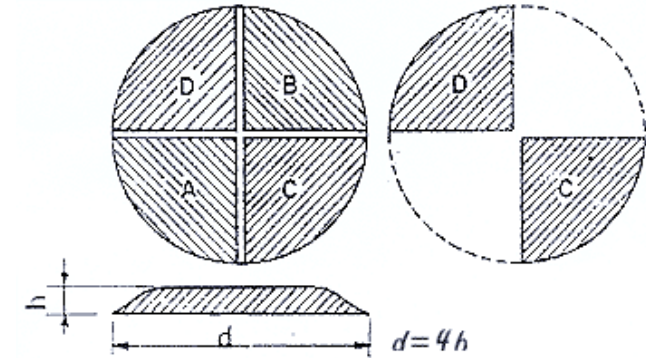
USCS Birleşik Zemin Sınıflama Sistemi (ASTM D2487-11)

A. Tane Boyu Dağılımı (ASTM D422-63; TSE CEN ISO/TS 17892-4)



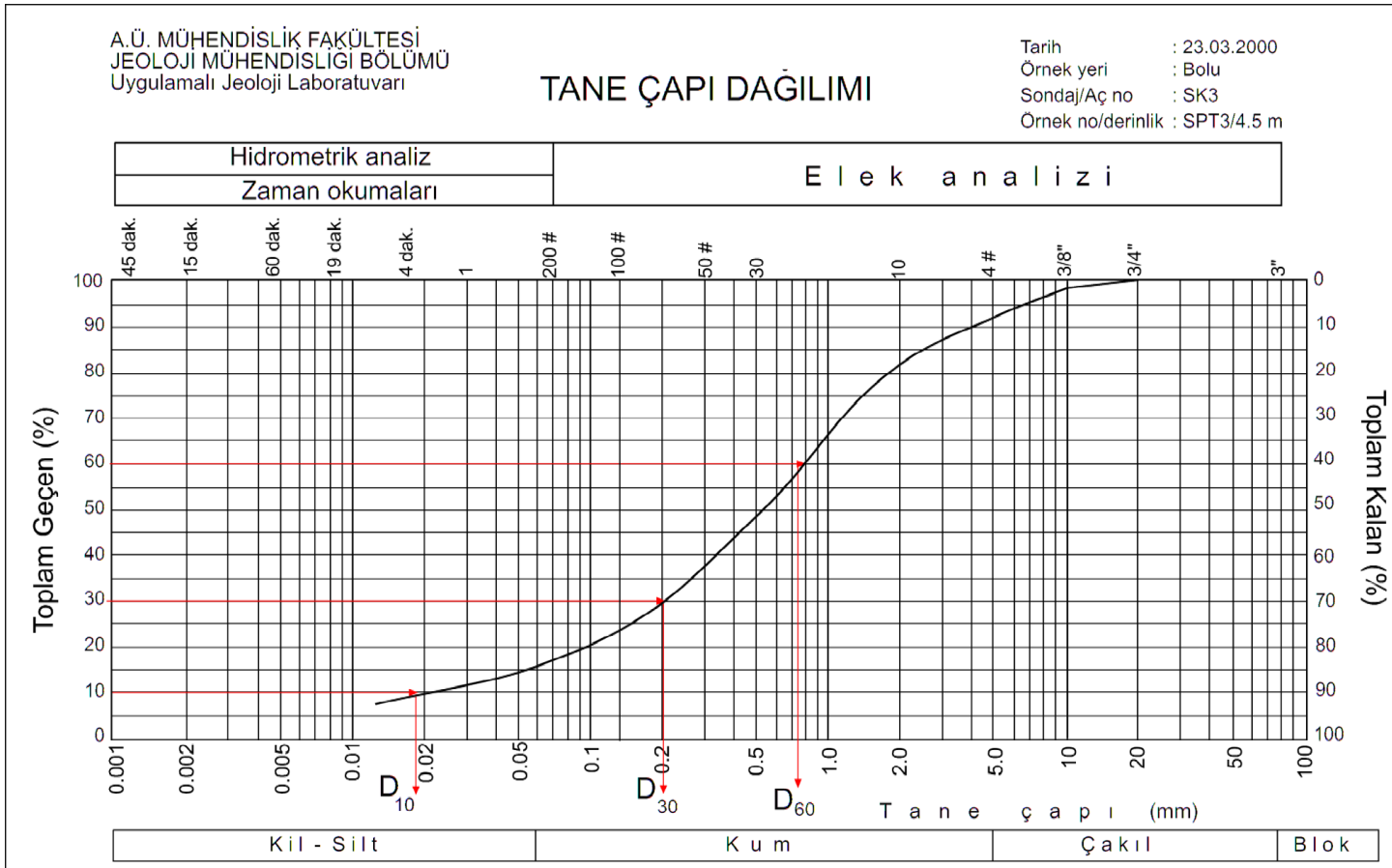
Ref : <http://civilblog.org/2013/05/14/sieve-analysis-of-soil-is-2720-part-4-1985/>

Elek numarası ile mesh aralığı ters orantılıdır. 4 numaralı elek açıklığı 4.75 mm iken, 200 numaralı elek açıklığı 0.074 mm dir. İriden inceye kadar tane fraksiyonlarının belirlenmesi için 4-10-30-50-100-200 gibi elek seti ile elek analizi ıslak veya kuru şekilde yapılır. USCS için ıslak elek tercih edilir. Elekte kalan fraksiyonlar ayrı ayrı tartılarak kümülatif toplam belirlenir. İri tanelilerde en az 200 g, ince tanelilerde 100 g kuru örnek yeterlidir. Çok miktarda örnek gerektiren durumlarda “çeyrekleme” ile hazırlık yapılır.



Ref: Örnek hazırlama (TS EN 932-1, TS 707, ASTM C 33)

1	2	3	4	5	6
Elek no	Elek açıklığı (mm)	Elekte kalan (g)	Toplam elekte kalan (g)	Kalan %	Toplam kalan %
3/8 "	19.10	2.12	2.12	2.12	2.12
4	4.76	7.02	9.14	7.02	9.14
10	2.00	10.12	19.26	10.12	19.26
30	0.59	32.32	51.58	32.32	51.58
50	0.29	24.59	76.17	24.59	76.17
100	0.149	3.59	79.76	3.59	79.76
200	0.074	2.22	81.98	2.22	81.98
Elek altı		18.02			



Uniformluk katsayısı

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

Süreklilik katsayısı

$$C_c \text{ veya } C_r = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

İnce taneli zeminlerin tane boyu dağılımı

Hidrometre deneyi ile belirlenir ve Stokes kanununa göre hesaplanır.

Stokes kanunu: Değişik tane boyutlarına sahip katılar suda veya başka bir eriyikte boyutlarına bağlı olarak değişik hızda çöklerler. Çökme hızı tanenin boyu ile doğru orantılıdır. Bu durumda çökme hızını ölçülerek, çökelen tanelerin boyu hesaplanabilir. Tanelerin şekilleri küresel kabul edilerek aşağıdaki bağıntılarla hesaplanır.

$$D = \sqrt{\frac{30n.v}{(\gamma_s - \gamma_w)\rho}}$$

olduğundan

$$v = \frac{L}{t}$$

$$D = \sqrt{\frac{30n}{(\gamma_s - \gamma_w)} \times \frac{L}{t}} \quad \text{mm}$$

Durgun sudaki tanenin çökme hızı;

$$v = \frac{(\gamma_s - \gamma_w)}{1800n} \rho \cdot D^2 \quad \text{cm/s} \quad v = \frac{\gamma_s - \gamma_w}{30n} \rho \cdot D^2 \quad \text{cm/dakika}$$

v= çökme hızı cm/s

γ_s = katının birim hacim ağırlığı

γ_w = sıvının birim hacim ağırlığı

n= sıvının dinamik viskozitesi

ρ = yer çekimi ivmesi $\text{cm/s}^2=980 \text{ g/s}^2$

L= partiküllerin düştüğü uzaklık (cm)

t= L mesafesinden düşme zamanı (s)

B. Zeminlerde Plastiklik (Atterberg Limitleri)

İnce taneli zeminlerin fiziksel ve mekanik özellikleri su içeriğine bağlı olarak buldukları fazlara göre değişir. Kurudan sıvıya kadar artan su içeriğine göre hemen her fazda bulunan zeminlerin bu faz geçişleri limitlerle tanımlanmıştır. Su içerisinde süspansiyon şeklinde bulunan killer kurudukça hacim değişikliğine uğrar (Atterberg, 1911).

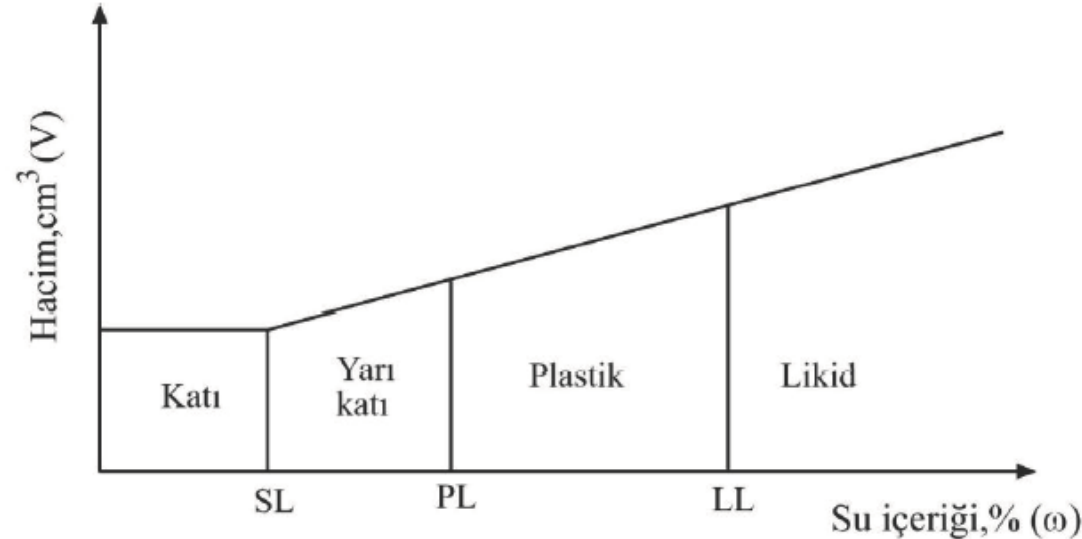
Likid Limit (LL) : Zeminin likid fazdan plastik faza geçtiği andaki su içeriğidir. Bu durumda zeminde hacim azalması olur, fakat herhangi bir kırık ve/veya çatlak gelişmez.

Plastik Limit (PL): Zeminin plastikten yarıkatı faza geçtiği andaki su içeriğidir. Bu aralıkta hacim azalması yanında kuruyan zeminde kırık/çatlaklar gelişebilir. Dolayısıyla bu aralıkta bulunan zeminlerde sıkışma, şişme veya yük taşıma halinde deformasyonlar beklenmelidir. Zeminlerin plastik özellikleri bir çok jeoteknik davranışlarını etkilemekte olup, bu aralıktaki su içeriği değişimi de Plastisite İndeksi (PI) olarak tanımlanmıştır.

$$PI=LL-PL$$

Büzülme Limiti (SL): Zeminin yarıkatıdan katı faza geçtiği andaki su içeriğidir. Zeminde artık hacim sabit hale gelmiş olup; zemin bu aralıkta deformasyon daha sık görülür.

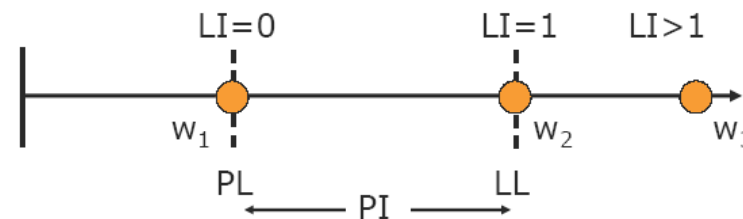
Atterberg limitleri zemindeki mineral türüne göre değişir. Montmorillonit zeminlerde likid limit %100'den büyük olabilmektedir. Mineral yapısında levhaların arasına su bağlı olduğundan montmorillonit bünyesine çok fazla su alabilmektedir. Kaolinitin ve/veya illitin Kristal yapısının daha sıkı olması nedeni ile faz geçişleri ve Atterberg limitleri daha düşük olacaktır.



Likidite İndeksi (LI) : Atterberg limitlerine göre zemin dayanımının kestiriminde kullanılan temel parametre olarak tanımlanmıştır. Arazideki doğal su içeriği ile plastik limitin farkının plastisite indeksine oranıdır. Doğal su içeriğinin likid limite yaklaşması durumunda likidite indeksi bir'e yaklaşacaktır.

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

LI (%)	Dayanım açıklaması
<0	Yarıkatı fazda; yüksek dayanım, kırılğan, ani kırılma beklenebilir
0-1	Plastik fazda; orta dayanım, plastik deformasyon
>1	Likid fazda; düşük dayanım, viskoz sıvı türü deformasyon



Aktivite (A): Zemindeki kil yüzdesinin plastisite indeksi ile direkt ilişkisi olup; kilin mineralojik bileşimi aktivitede önemli rol oynar (Skempton, 1953).

$$A = \frac{PI}{\text{Kil yüzdesi (\%)}}$$

Not: Kil yüzdesi 2 mikrondan küçük tane boyu için geçerlidir.

Kil Minerali	Aktivite
Smektit	1-7
İllit	0.5-1.0
Kaolinit	0.5
Atapuljit	0.5-1.2
Halloysit	0.1

Zemin Türü	LL (%)	PL (%)	PI (%)
Kum	Non Plastik		
Silt	30-40	20-25	10-15
Kil	40-150	25-50	15-100

PI (%)	Tanım
0	Non-Plastik
1-5	Az plastik
5-10	Düşük plastik
10-20	Orta plastik
20-40	Yüksek plastik
>40	Çok yüksek plastik

Ref: Burmister (1953)

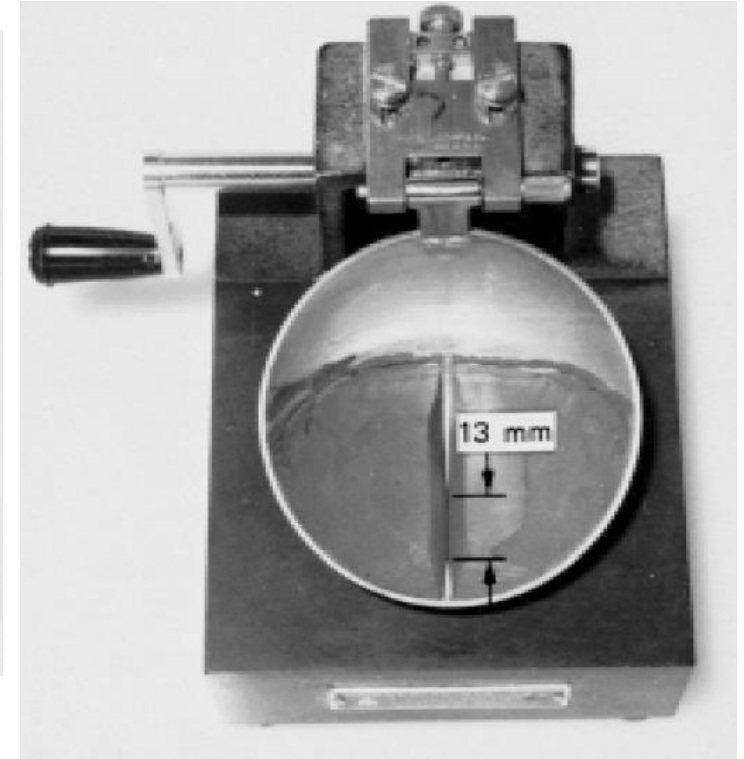
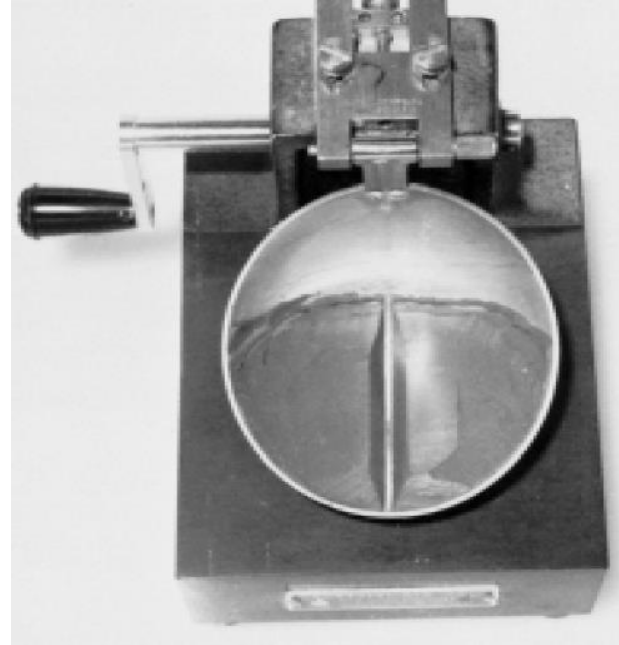
	LL (%)	PL (%)	PI (%)	SL (%)
Montmorillonit	140-710	54-98	67-656	9.3-14.7
İllit	80-120	45-60	33-67	15.3-17.5
Kaolinit	38-59	27-37	11-23	24.5-29.2
Atapuljit	270	150	120	7.6

Ref: Cornell (1951)

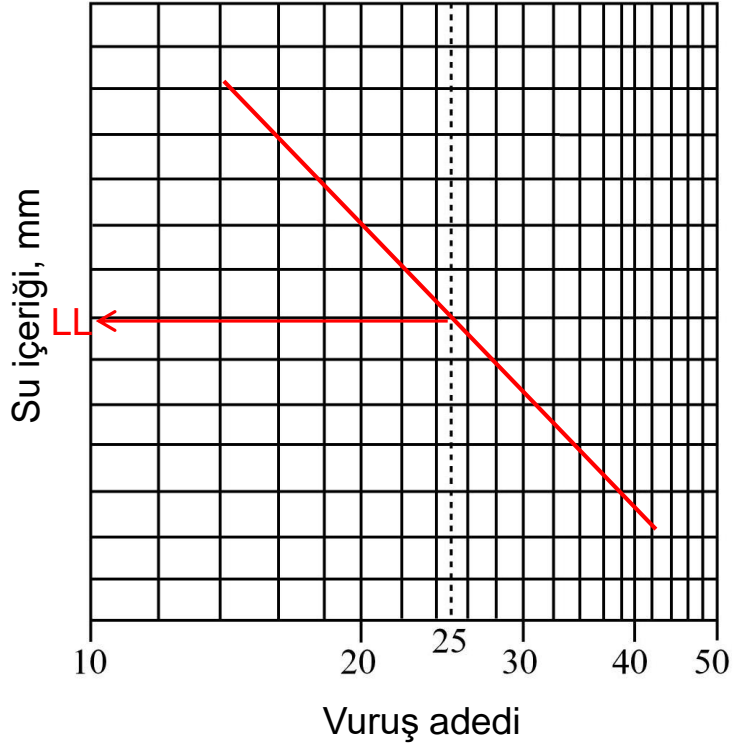
Tanım	PI (%)	Arazide tanımlama
Non-plastik	0-3	Kolayca dağılır
Düşük plastisite	3-15	Parmakla kolay kırılır
Orta plastisite	15-30	Zor kırılır
Yüksek plastisite	>30	Parmakla kırılması imkansız

Ref: Sowers (1979)

Casagrande Deneyi (ASTM D 4318-00)



Likid Limit	LL	LL	LL
Kap no	K1	K2	K3
Vuruş adedi	40	30	20
Kap+Yaş örnek (g)	57.53	47.18	63.72
Kap+Kuru örnek (g)	50.66	40.86	55.59
Kap kütlesi (g)	38.15	29.84	41.93
Su kütlesi (g)	6.87	6.32	8.13
Kuru örnek kütlesi (g)	12.51	11.02	13.66
Su içeriği (%)	57	58	60



Üç Nokta Yöntemi

25 vuruşa karşılık gelen su içeriği Likid Limit olarak tanımlanmıştır

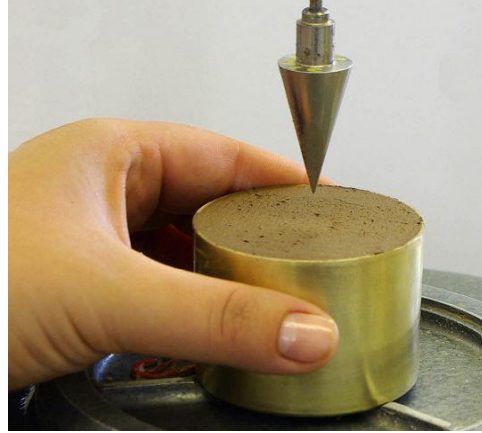
Tek Nokta Yöntemi

$$LL = w^n(N/25)^{0.121}$$

w : Su içeriği

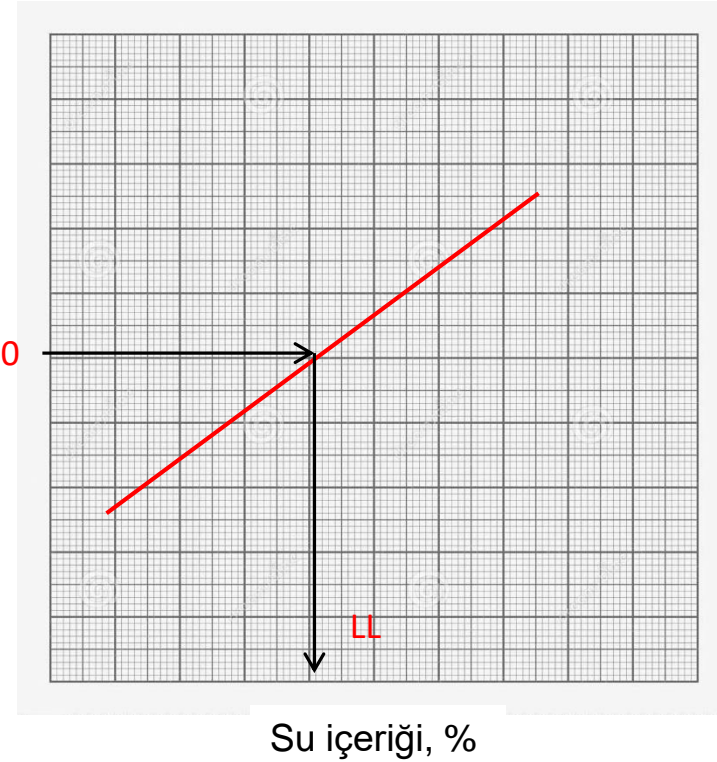
Düşen Koni Deneyi (BS 1377; TS CEN ISO 17892-6)

Deney	w (%)	İlk okuma	Son okuma	Penetrasyon (mm)	Ort. pen. (mm)
A1	19	25	6.25	18.25	19.51
A2	17	25	4.73	20.27	
B1	24	25	3.24	21.76	22.37
B2	25	25	2.02	22.98	
C1	32	25	1.26	23.74	23.88
C2	33	25	0.98	24.02	



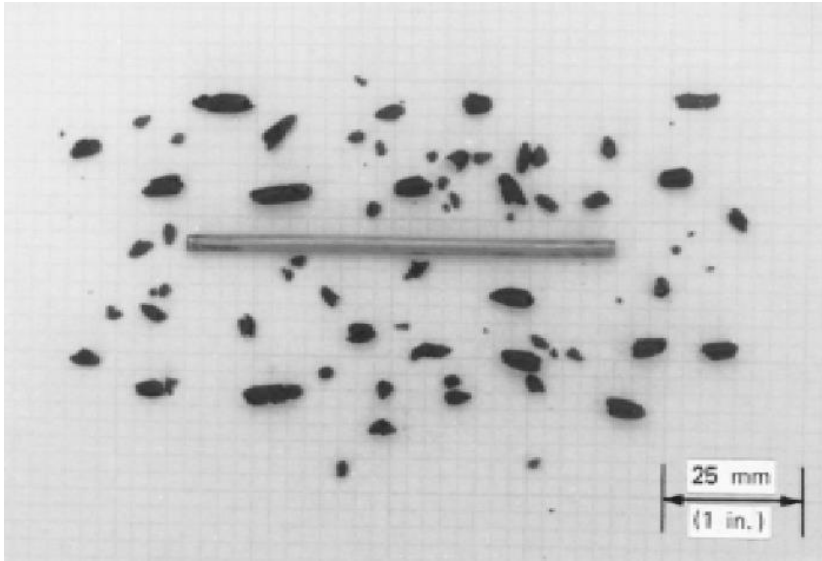
Penetrasyon, mm

20



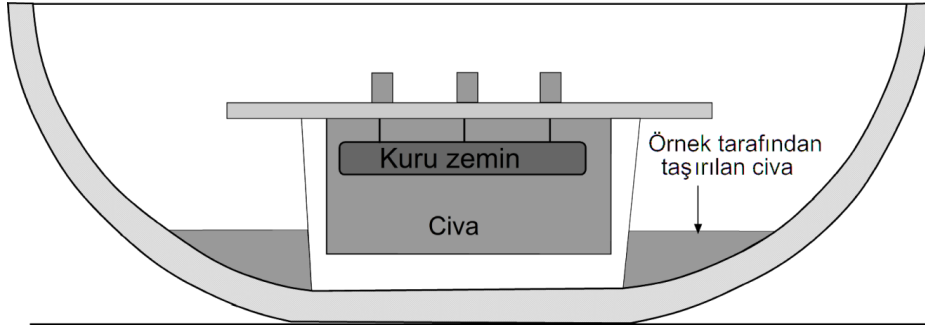
Likid Limit, 20 mm' lik penetrasyona karşılık gelen su içeriğidir.

Plastik Limit (ASTM D 4318 – 00)



PL	PL
K5	K6
-	-
37.72	39.04
36.82	38.35
33.74	35.92
0.90	0.69
3.08	2.43
29	28





Hacimsel Büzülme

Islak örnek kütlesi

$$M = M_w - M_T$$

Kuru örnek kütlesi

$$M_0 = M_D - M_T$$

Su içeriği

$$\omega = [(M - M_0) / M_0] \times 100$$

Hacimsel Büzülme Limiti

$$SL = \{[(V - V_0) \rho_w / M_0] \times 100\}$$



Farklı zeminlerdeki lineer büzülme miktarları

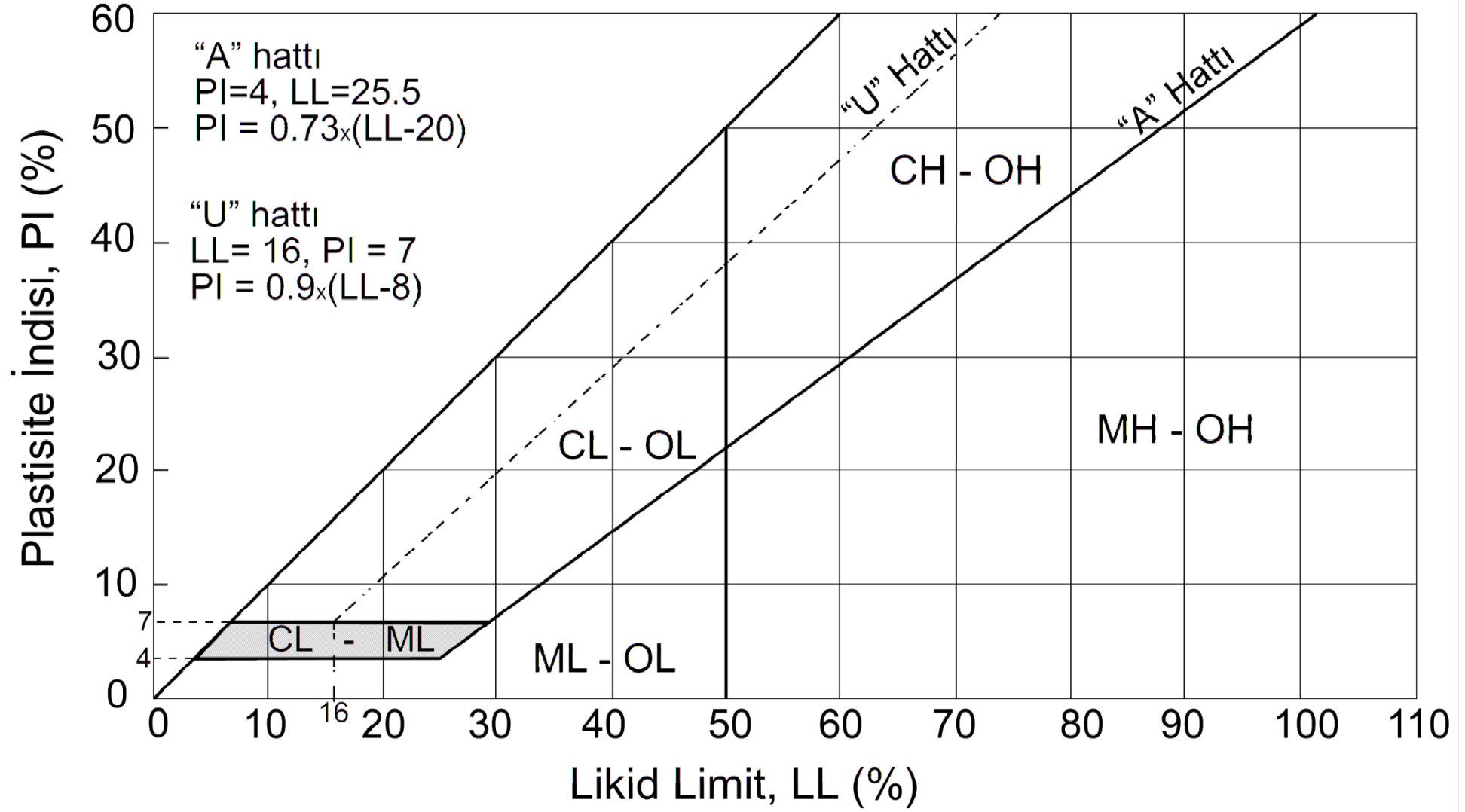
Linear Büzülme Limiti

$$LS = 100 [1 - (100 / V_s + 100)^{1/3}]$$

USCS Birleşik Zemin Sınıflama Sistemi (ASTM D2487-11)

200 # Elekten Geçen %	4 # Elekten Geçen %	İnce Tane Yüzdesi	Derecelenme ve Plastiklik		Sembol	Açıklama
< %50	> %50	% 0-5	$c_u > 6$ ve $1 < c_c < 3$	Evet	SW	İyi derecelenmiş KUM
			Hayır	SP	Kötü derecelenmiş KUM	
		% 5-12	Çift Sembol		SP-SM	Siltli, Kötü derecelenmiş KUM
					SP-SC	Killi, Kötü derecelenmiş KUM
					SW-SM	Siltli, iyi derecelenmiş KUM
					SW-SC	Killi, iyi derecelenmiş KUM
		% 12-50	$PI > 0.73(LL-20) \%$ (A hattı üstünde)	Evet	SC	Killi KUM
				Hayır	SM	Siltli KUM
	< %50	% 0-5	$c_u > 4$ ve $1 < c_c < 3$	Evet	GW	İyi derecelenmiş ÇAKIL
				Hayır	GP	Kötü derecelenmiş ÇAKIL
		% 5-12	Çift Sembol		GP-GM	Siltli, Kötü derecelenmiş ÇAKIL
					GP-GC	Killi, Kötü derecelenmiş ÇAKIL
					GW-GM	Siltli, İyi derecelenmiş ÇAKIL
					GW-GC	Killi, İyi derecelenmiş ÇAKIL
% 12-50		$PI > 0.73(LL-20) \%$ (A hattı üstünde)	Evet	GC	Killi ÇAKIL	
			Hayır	GM	Siltli ÇAKIL	
200 # Elekten Geçen %	$LL > \%50$	$PI > 0.73(LL-20) \%$ (A hattı üstünde)		Sembol	Açıklama	
> %50	Evet	Evet		CH	Yüksek plastisiteli inorganik KİL	
		Hayır		MH	Yüksek plastisiteli inorganik SİLT	
	Hayır	Evet		CL	Düşük plastisiteli inorganik KİL	
		Hayır		ML	Düşük plastisiteli inorganik SİLT	

USCS Birleşik Zemin Sınıflama Sistemi (ASTM D2487-11)



Çakıl	Gravel	G
Kum	Sand	S
Silt	Mil	M
Kil	Clay	C
Organik malzeme	Organic material	O
Turba	Peat	P

Bunlar ilk semboller olup, tanımlayıcı olan ikinci semboller şunlardır.

İyi dereceli	Well graded	W
Kötü dereceli	Poorly graded	P
Plastik olmayan ince taneli	With non-plastic fines	M
Plastik ince taneli	With plastic fines	C
Düşük plastisite	Of low plasticity (LL<35)	L
Orta plastisite	Of Intermediate plasticity (LL=35-50)	I
Yüksek plastisite	Of high plasticity (LL>50)	H

TS-1500 Zemin Sınıflama Sistemi

				SINIFI	
				SİMGE	GRUP ADI ^B
İRİ DANELİ ZEMİNLER (% 50'den Fazlası 75 µm 75 µm'den büyük)	ÇAKILLAR Kaba Danelerin % 50'den Fazlası	Temiz Çakıllar (% 5'ten az ince içeriyor)	$C_u \geq 4$ ve $1 \leq C_r \leq 3$	GW	Düzgün dane dağılımlı çakıl ^C
			$C_u < 4$ ve/veya $1 > C_r > 3$	GP	Üniform çakıl ^C
		Kirli Çakıllar (İncesi % 5'ten fazla) ^A	İnceleri ML, MI veya MH	GM	Siltli çakıl ^C
			İnceleri CL, CI veya CH	GC	Killi çakıl ^C
	KUMLAR Kaba Danelerin % 50'den Fazlası	Temiz Kumlar (% 5'ten az incesi var)	$C_u \geq 6$ ve $1 \leq C_r \leq 3$	SW	Düzgün dane dağılımlı kum ^D
			$C_u < 6$ ve/veya $1 > C_r > 3$	SP	Üniform kum ^D
		Kirli Kumlar (İncesi % 5'ten fazla) ^A	İnceleri plastisite kartında ML, MI veya MH	SM	Siltli kum ^D
			İnceleri plastisite kartında CL, CI veya CH	SC	Killi kum ^D
İNCE DANELİ ZEMİNLER (% 50'den Fazlası 75 µm'den küçük)	SİLTLER VE KİLLER (Likit limiti 35'ten düşük)	Anorganik	$I_p \geq 4$ ve A-doğrusunun üstünde	CL ^E	Düşük plastisiteli kil
			$I_p < 4$ ve A-doğrusu altında	ML ^E	Düşük plastisiteli silt
	SİLTLER VE KİLLER (Likit limiti 35'e eşit veya 50'den küçük)	Anorganik	I_p A-doğrusunun üstünde veya üzerinde	CI ^E	Orta plastisiteli kil
			I_p A-doğrusu altında	MI ^E	Orta plastisiteli silt
	SİLTLER VE KİLLER (Likit limiti 50 veya yüksek)	Anorganik	I_p A-doğrusunun üstünde veya üzerinde	CH ^E	Yüksek plastisiteli (yağlı) kil
			I_p A-doğrusu altında	MH ^E	Yüksek plastisiteli (elastik) silt
ORGANİK ZEMİN	Koyu renkli, Kokulu, Aşırı organik malzeme içeriyor			PT	Turba

A: İncelerin oranı %5 - %12 arası ise çift simge kullanılır (Çizelge-III).

B: Zemin moloz içeriyorsa grup adına eklenir.

C: Örnekte %15'ten fazla kum varsa grup adına 'kumlu' terimi eklenir.

D: Örnekte %15'ten fazla çakıl varsa grup adına 'çakıl' terimi eklenir.

E: W_L kurutulmuş / W_L doğal < 0.75 ise 'O' terimi eklenir.

TS-1500 Zemin Sınıflama Sistemi

