

T. C.  
BAYINDIRLIK VE İSKÂN BAKANLIĞI  
DEVLET SU İŞLERİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ  
XVIII. Bölge Müdürlüğü  
Yayın No : 1

JEOTEKNİK MÜHENDİSLİĞİNDE  
**ZEMİN**  
**SINIFLAMASI**

HASAN TOSUN  
Kalite Kontrol ve Laboratuvar  
Şube Müdürü



Mart 1989 — ISPARTA



## ÖNSÖZ

Sınıflama yöntemi, benzerliklerin tanınması ve nesnelere gruplanması insanın varoluşu kadar eskidir. Sınıflama biliminin orijini ise eski Yunan yazıtlarına kadar gitmektedir. Sınıflamalar diğer bilimlerde uzun zamanlardan beri kullanılmasına rağmen, mühendislik sınıflamaların sistematik kullanımı yakın zamanda olmuştur. Jeoteknik Mühendisliğinde kullanılan bu sistematik sınıflamalardan biri, Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemidir.

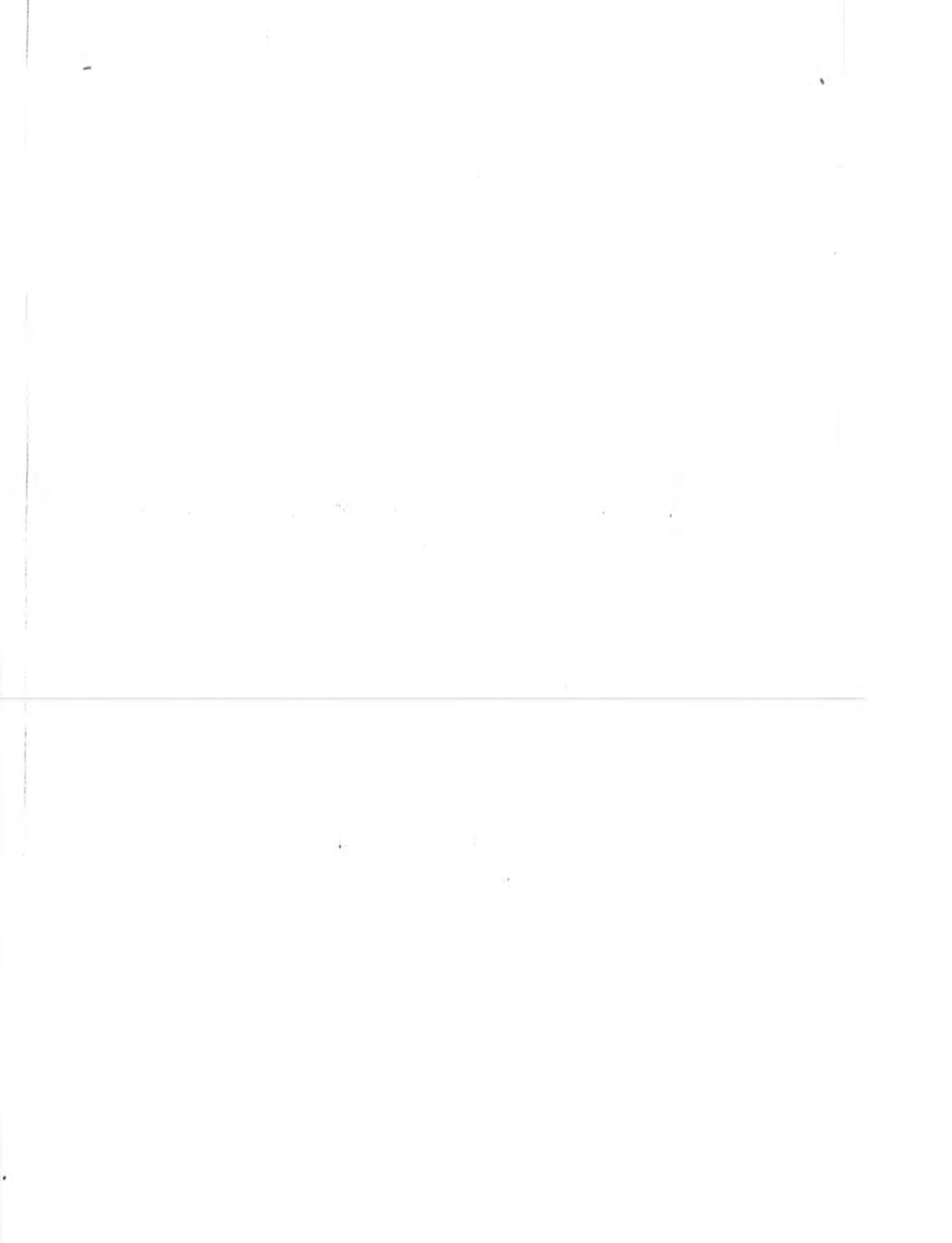
DSİ 18. Bölge Kalite Kontrol ve Laboratuvar Şube Müdürlüğünün başlattığı cep yayını serisinin birincisi olan bu kitapta, Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi anlatılmaktadır. Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sistemi, farklı mühendislik özelliklerine sahip zeminleri belli grup ve kategoriler içine ayırarak tanımlayan bir yöntemdir. Bu cep kitabında, Birleştirilmiş Sınıflama Sistemine göre zeminlerin sınıflamasında dikkate alınan temel prensipler özetlenmekte ve muhtemel yapılabilecek hatalar vurgulanmaktadır. Bu kitap, bazı temel konuların bilindiği varsayımı ile hazırlanmıştır. Ancak konuyla ilgili detay bilginin alınabileceği yayınlar toplu olarak Kaynaklar Bölümünde verilmektedir. Ayrıca her bölümün sonunda, konunun daha iyi anlaşılması amacıyla örnek problemler ve çözümleri sunulmaktadır.

İnşaat teknisyeni, laborant, jeolog ve kontrol mühendisi gibi DSİ camiasına yeni katılan personelin müracaat edebileceği küçük kaynak eserlerin hazırlanmasını bizzat isteyen ve çalışmalarımız sırasında her türlü destek ve yardımı esirgemeyen DSİ 18. Bölge Müdürü Sayın Emin ERDOĞAN'a teşekkür etmeyi bir borç biliyorum. Ayrıca bu eserin hazırlanmasında emeği geçen DSİ çalışanlarına teşekkür ederim.



## İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa</u>
1. GİRİŞ .....	1
2. ZEMİNLERİN TANIMLANMASINDA KULLANILAN DENEYLER VE TERMİNOLOJİ .....	5
2.1. Tane Dağılım Analizi .....	5
2.2. Zemin Kıvamı .....	6
3. İRİ TANELİ ZEMİNLER .....	11
3.1. Kum ve Çakıl Ayrımı .....	11
3.2. İnce Malzeme Miktarı .....	13
3.3. Tane Dağılımı - İyi ve Kötü Derecelenme .....	17
3.4. Siltli ve Killi İri Taneli Zeminler .....	23
4. İNCE TANELİ ZEMİNLER .....	26
5. SINIR ZEMİNLER .....	30
5.1. İri Taneli Zeminler .....	30
5.2. İnce Taneli Zeminler .....	33
5.3. İri ve İnce Taneli Zeminlerin Birleşimi .....	34
5.4. Laboratuvar Sınıflamasında Çift Sembolün Yeri .....	35
KAYNAKLAR .....	41



## 1.GİRİŞ

Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sisteminde, farklı mühendislik özelliklerine sahip zeminler belli grup veya kategori içine ayrılarak tanımlanır. Bir mühendis, sınıflama grup sembolünü gördüğü zaman hemen o zeminin permeabilitesi, kayma direnci ve potansiyel hacim değişiklikleri ile su ve don faktöründen nasıl etkileneceği hakkında bir fikir sahibi olmalıdır. Sınıflama sembolleri aynı zamanda kazı karakteristiklerinin, yeraltı suyu problemlerinin ve zeminin çalışılabilirliğinin belirlenmesinde dikkate alınan önemli parametrelerden biridir [1] [2] [3].

Zeminler, temel mühendislik özelliklerine göre 15 farklı gruba ayrılmıştır. Bu sınıflama, yalnızca tane çapı 75 mm den küçük zeminler için geliştirilmiştir. Her temel grup GC, ML gibi farklı iki harften oluşan bir sembole temsil edilir. Bu sınıflamada teklif edilen 15 farklı grup aşağıda verilmektedir.

- GW - İyi derecelenmiş çakıl
- GP - Kötü derecelenmiş çakıl
- GM - Siltli çakıl
- GC - Killi çakıl
- SW - İyi derecelenmiş kum
- SP - Kötü derecelenmiş kum
- SM - Siltli kum
- SC - Killi kum
- ML - Organik olmayan silt (düşük plastisiteli)
- CL - Organik olmayan kil (düşük plastisiteli)
- MH - Organik olmayan silt (yüksek plastisiteli)
- CH - Organik olmayan kil (yüksek plastisiteli)
- OL - Organik silt ve düşük plastisiteli organik silt-kil
- OH - Organik kil
- Pt - Turba ve diğer organik zeminler

Sınıflama gruplarının birbirleriyle nasıl ilişkili olduğu ve her grubun nasıl belirlendiği açık olarak Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Çizelgesinden görülebilir (Şekil 1). Sınıflama gözlemsel olarak da yapılabilir, ancak laboratuvar deneylerine bağlı olarak yapılması daha hassas sonuçlar vermektedir [4].

Zemin sınıflaması özellikle bir inşaat projesinin planlama safhasında önemlidir. Zemin sınıflarının ve deskripsiyonunun elde edildiği el burguluları, sondaj kuyuları ve deney çukurları gibi zemin araştırma logları aşağıda sıralanan amaçlar için kullanılır.

1. Potansiyel temel problemlerinin belirlenmesinde.
2. İlave arazi ve laboratuvar araştırmalarının gerekli olup olmadığı kararının verilmesinde.
3. Proje mühendisi ve müteahhitin mevcut inşaat malzemeleri hakkında bilgilendirilmesinde.
4. İlk maliyet analizinin yapılmasında.
5. Kazı, taban suyu ve işlenebilirlik karakteristiklerinin belirlenmesinde.



ARAZI SINIFLAMASI		GRUP SMBOLÜ	TIRIK İSİM	LABORATUVAR SINIFLAMASI			
Malzemenin % 3'ünden fazlası 4,75 mm. den büyük(200 nolu elek üstünde kalıyor)	ÇAKIL	İri malzemenin % 50'sinden fazlası 4 nolu elek üstünde kalıyor	Temiz çakıl	GW	İyi derecelenmiş çakıl, çakıl-kum karışımları; ince yok veya çok az.	$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} > 4$ $C_c = \frac{(d_{20})^2}{(d_{10})(d_{60})} = 1-3$	
			İnce malzeme'li çakıl	GP	Kötü derecelenmiş çakıl, çakıl-kum karışımları; ince yok veya çok az.		GW şartlarını sağlamayan zeminler
		KUM	İri malzemenin % 50'sinden fazlası 4 nolu elek altına geçiyor	Temiz kum	GM	Siltli çakıllar, kötü derecelenmiş çakıl, kum ve kil karışımları.	Atterberg limitleri Açığızısı altında veya $PI < 4$ Atterberg limitleri A çizgisi üzerinde ve $PI > 7$
					GC	Killi çakıllar; kötü derecelenmiş çakıl, kum ve kil karışımları.	
		KUM	İri malzemenin % 50'sinden fazlası 4 nolu elek altına geçiyor	Temiz kum	SW	İyi derecelenmiş kumlar, çakıllı kumlar; ince az veya yok.	$C_u > 6$ $C_c = 1-3$
					SP	Kötü derecelenmiş kumlar, çakıllı kumlar; ince az veya yok.	
	İnce malzemeli kum			SM	Siltli kumlar, kötü derecelenmiş kum-silt karışımları.	Atterberg limitleri A çizgisi altında veya $PI < 4$	A çizgisinin üstünde ve $PI = 4-7$ ise, çift sembol kullanılır.
				SC	Killi kumlar, kötü dereceli kum-silt karışımları.	Atterberg limitleri A çizgisi üstünde ve $PI > 7$	
	Arazi tanımlamasındaki yüzdeleri belirlerken tane dağılım eğmesi kullanılır.				Tane dağılım eğrisinden çakıl ve kum yüzdesi belirlenir.		
					- 200 nolu elekten geçen ince malzeme yüzdesine göre iri taneli zeminler sınıflandırılır.		
					- İnce % 5 den az ise, grup sembolü: GW, GP, SW, SP		
					- İnce % 5-12 arasında ise çift sembol (Baz. Bölüm 5)		
				- İnce % 12 den fazla ise grup sembolü: GM, GC, SM, SC			

Şekil 1. Birleştirilmiş zemin sınıflaması (A Bölümü-İri taneli zeminler.)



## 2. ZEMİNLERİN TANIMLANMASINDA KULLANILAN DENEYLER VE TERMİNOLOJİ

Zeminlerin sınıflaması için gerekli laboratuvar deneyleri, tane dağılım analizi ve kıvam limitleri deneyidir. Birleştirilmiş Zemin Sınıflama Sisteminde yalnızca 75 mm den küçük çaplı malzeme dikkate alınır.

### 2.1. Tane Dağılım Analizi

Tane dağılım analizinde zemin kurutulur ve birbirini takip eden açıklıklı standart elek serisinden elenir. Her elekte kalan zeminin ağırlığı tartılır ve ağırlık esasına bağlı olarak her elekten geçen yüzdelere hesaplanır ve tane dağılım eğrisi çizilir (Şekil 2). 200 nolu elek altı malzeme için hidrometri yöntemiyle tane dağılım analizi yapılır [5].

Aşağıda verilen terimler, değişik büyüklükteki taneleri tanımlamak için kullanılır.

Taş	- çapı 300 mm den büyük blok
Blok	- 75 - 300 mm arası
Çakıl	- 4.75-75 mm arası taneler
İri çakıl	- 19.1 - 75 mm
İnce çakıl	- 4.75 - 19.1 mm
Kum	- 75 µm- 4.75. mm arası taneler
İnce (kil ve silt)	- 75 µm dan küçük taneler

Tane dağılım analizi sonuçları rapor edildiği zaman ince, kum ve çakıl yüzdeleri açık olarak ve-

rilir.Şekil 2 deki tane dağılım egrisinden çakıl, kum ve ince yüzdeleri aşağıdaki gibi elde edilir.

Çakıl: % 32      Kum: % 50      İnce: % 18

## 2.2. Zemin Kıvamı

Çoğu ince taneli zeminlerin fiziksel özellikleri, özellikle killi zeminler, su muhtevası tarafından oldukça fazla etkilenir.Kil, su muhtevasına bağlı olarak katı çorba gibi çok yumuşak veya çok sert ve sıkı olabilir.Bu iki uç tanımlama arasında, kil herhangi bir çatlama veya kopma olmadan kalıplanabilir.Bu durumdaki kilin plastik olduğu düşünülür.Plastisite, kilin en belirgin özeliğidir ve killi zeminlerin ayırt edilmesinde ve tanımlanmasında kullanılır [3] [4].

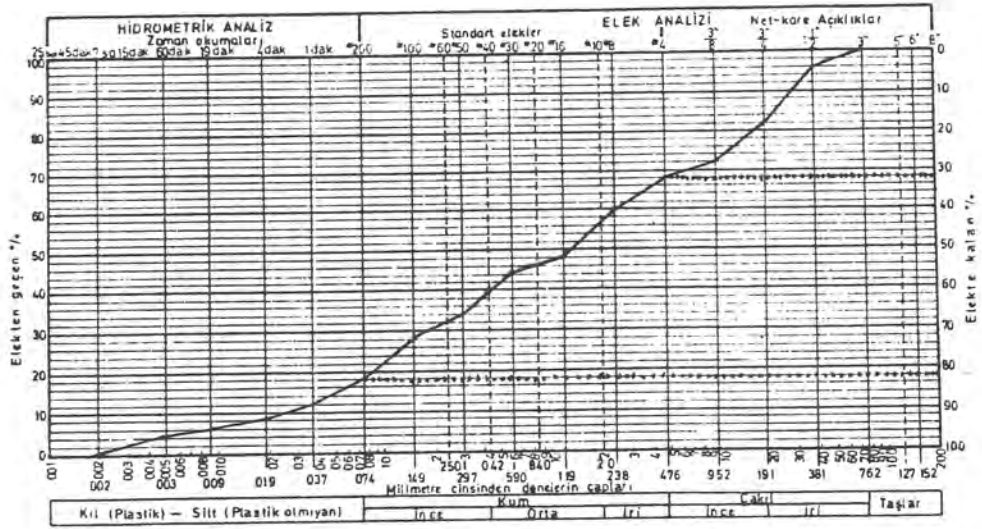
1911 yılında İsveç'li bilim adamı A.Atterberg zeminlerin plastisitelerini belirlemek için elle yapılan deneyler serisini geliştirmiştir.Bu deneyler, Atterberg limitleri veya zemin kıvam deneyleri olarak bilinmektedir.

Bir zeminin kıvamını vasıflandırmak için dört safha veya durum tanımlanmaktadır.

- 1.Likit durum
- 2.Plastik durum
- 3.Yarı katı durum
- 4.Katı durum

Bu kıvam durumları su muhtevasıyla ilişkilidir.Bir safhadan diğerine keskin bir geçiş olmasına rağmen, deney şartları keyfi olarak bir safhadan diğerine geçişteki belli bir noktanın su muhtevasının belirlenmesi olarak kurulmuş bu-

2



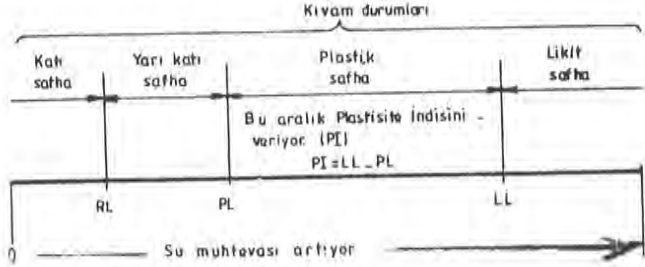
Şekil 2. Tane dağılım eğrisi

lunmaktadır..Bu su muhtevaları,Likit Limit(LL) Plastik Limit(PL) ve Büzülme Limiti(RL) olarak adlandırılır.Bu deneyler 40 nolu elekten geçen zemin tanecikleri üzerinde yapılır.

Limitler ve kıvam safhaları arasındaki ilişki Şekil 3 de izah edilmektedir.Çok ıslak ince taneli zemin kurutulursa,zemin değişik kıvam safhasına doğru kayar.Çok ıslak şartlarda zemin likit safha olarak bilinen bir akışkan sıvı gibi hareket eder.Zeminin kuruması,su kaybına bağlı olarak kitle hacminde bir azalma ortaya çıkartır. Zemindeki nem likit limite eşit bir duruma ulaşırsa,kitle plastik safhaya geçer.

Likit Limit(LL),zeminin kendi ağırlığı altında aktığı en düşük su muhtevası olarak tanımlanır.Bu durumdaki zeminin su muhtevasının artırılmasıyla zemin kitlesi standart şok etkisi altında akışkan olmaya başlar.Likit Limit,standard deneyden elde edilebileceği gibi bu amaçla geliştirilmiş likit limit aletinden de elde edilebilir.Bu standard deney aletiyle yapılması durumunda,zemin içinde açılan bir oyukun yirmibeş vuruşta kapanması için gerekli su muhtevası olarak tanımlanır.Su muhtevasının likit limitin altına düşmesiyle zemin kitlesi daha da katılaşır.Ancak, plastik limite ulaşınca kadar herhangi bir çatlama meydana gelmeden deforme olmaya müsaittir.

Plastik Limit(PL),zeminin plastiklik özeliğini kaybettiği ve daha kolay kırılabilir(gevrek) hale geldiği su muhtevası olarak tanımlanır ve zemin kuru ağırlığının bir yüzdesi olarak ifade edilir.Plastik Limit,daima zemin kitlesinin 3 mm çapında silindir hale getirilebildiği su muhtevasının belirlenmesi yöntemiyle elde edilir.Bu nedenle Plastik Limit zeminin kırılmadan takriben 3 mm çapında bir silindir haline getirilebildiği en düşük su muhtevası olarak da tanımlanır [6].



Şekil 3, Kıvam limitleri

Plastisite İndisi (PI), Likit ve Plastik Limitler arasındaki farktır ve zeminin plastik olarak kalabildiği nem aralığını temsil eder. Killer, yüksek Plastisite İndisine sahip iken silt malzeme düşük Plastisite İndisine sahiptir veya hiç sahip değildir. Plastisite İndisi, Likit Limitle birlikte nem oranındaki değişikliklerin zeminin hassasiyetini nasıl etkilediğini göstermektedir.

Su muhtevasının Plastik Limitin altına düşmesiyle zemin yarı katı duruma geçer. Yani deforme olabilir ancak zeminin dikkate değer ölçüde yüklenmesi gerekir ve zemin çatlaktır. Bu durum "yarı katı" safha olarak bilinir. Eğer zeminin kuruması devam ederse, yeni büzülme çatlaklarının meydana gelmeyeceği "katı" safhaya ulaşırlar. Bu şartlar altında zemin boşluklarını dolduran su muhtevasına Büzülme Limiti (RL) denir. Bir başka deyişle Büzülme Limiti, daha fazla su kaybının zeminin hacminde bir azalmaya neden olmadığı andaki su muhtevasıdır.

Kıvam limitleriyle ilgili özet bilgi aşağıda ve tanımlayıcı bilgi ise Tablo 1 de verilmektedir.

LL	Likit Limit	- zeminin plastik safhadan likit safhaya geçtiği andaki su muhtevası
PL	Plastik Limit-	zeminin yarı katı safhadan plastik safhaya geçtiği andaki su muhtevası
PI	Plastisite İndisi	- zeminin plastik olarak kaldığı su muhtevası
RL	Büzülme Limiti	- daha fazla su kaybının zeminin hacminde bir azalmaya neden olmadığı andaki su muhtevası

Tablo 1. Atterberg limitleri [7]

Safha	Tanımlama	Sınır veya limit
Likit	Balcık, bezelye çorbası-akışkan tereyağı.	Likit Limit (LL)
Plastik	Yumuşak tereyağı- katı macun, deforme oluyor ancak çatlama yok.	Plastik Limit (PL)
Yarı katı	Peynir, kalıcı olarak deforme oluyor ancak çatlama var	Büzülme Limiti (RL)
Katı	Sert şeker; deforme olurken bütünüyle dağılıyor.	



### 3. İRİ TANELİ ZEMİNLER

Zeminler 3 temel sınıfa ayrılırlar.

1. İri taneli zemin
2. İnce taneli zemin
3. Aşırı organik zemin

Zeminlerin çoğu ilk iki sınıfa girerler. Aşırı organik zeminler (Pt); renk, koku, süngerimsi görünüşü ve lifli yapısı ile ayırt edilebilirler. Aşırı organik zeminler genellikle herhangi bir laboratuvar deneyi yapılmadan gözlemsel olarak sınıflandırılır. İlk iki zemin tipinin sınıflaması laboratuvar deneyleri ile yapılabileceği gibi gözlemsel olarak da yapılabilir.

İri ve ince taneli zeminlerin ayrımı, tane büyüklüğüne bağlıdır. Önce 75 mm nin üzerindeki malzeme analiz dışı bırakılır ve hacimsel olarak oranı belirlenerek kayıt edilir. Eğer kalan malzemenin ağırlıkça % 50 si 75 µm dan büyük ise (200 nolu elek üstünde kalıyorsa) iri taneli zemin, küçük ise ince taneli zemin olarak adlandırılır.

#### 3.1. Kum ve Çakıl Ayrımı

İri taneli zeminler, kum (S) ve çakıl (G) diye iki gruba ayrılır. S ve G, iki harfli sembolün ilk harfini oluşturmaktadır. Eğer malzemenin iri taneli bölümünün (200 nolu elek üstü) yarısı, 4.75 mm den büyük ise (4 nolu elek üstü) zemin çakıl dır. Eğer malzemenin iri taneli bölümünün yarısı, 4.75 mm den küçük ise (4 nolu elek altı), malzeme kum olarak tanımlanır.

## ÖRNEK 1

Soru: Aşağıda tane dağılımı verilen zemini sınıflayınız?

- % 100 ü 75 mm(3 inç) lik elekten geçiyor
- % 85 i 4.75 mm(4 nolu) lik elekten geçiyor
- % 15 i 75 µm(200 nolu) lik elekten geçiyor

Çözüm: Malzemenin % 70 i (85-15) 75 µm dan büyük ve 4.75 mm den küçüktür.Yalnızca % 15 i (100-85),4.75 mm den büyüktür.Yani malzemenin iri taneli bölümünün yarısından fazla 4.75 mm den küçüktür..Bu nedenle zemin kum olarak sınıflandırılır.

## ÖRNEK 2

Soru: Aşağıda verilen zeminlerin ince veya iri taneli olup olmadıklarını belirleyiniz? Eğer iri taneli ise,kum veya çakıl olarak ayırınız?

- a) % 82 si 75 µm dan büyük(200 nolu elek)
- % 60 i 300 µm dan büyük(50 nolu elek)
- % 22 si 4.75 mm den büyük(4 nolu elek)

Çözüm: % 18 i 75 µm dan büyük (ince)  
% 60 i 75 µm - 4.75 mm arası (kum)  
% 22 si 4.75 mm den büyük (çakıl)

% 18	ince	} iri taneli,kum
% 60	kum	
% 22	çakıl	

- b) % 100 ü 4.75 mm (4 nolu) lik elekaltı  
% 93 ü 2.36 mm (8 nolu) lik elekaltı  
% 84 ü 1.18 mm (16 nolu) lik elekaltı  
% 77 si 600 µm (30 nolu) lik elekaltı  
% 61 i 300 µm (50 nolu) lik elekaltı  
% 52 si 150 µm (100 nolu) lik elekaltı  
% 38 i 75 µm (200 nolu) lik elekaltı

Çözüm: İri taneli, % 38 inceli kum

### ÖRNEK 3

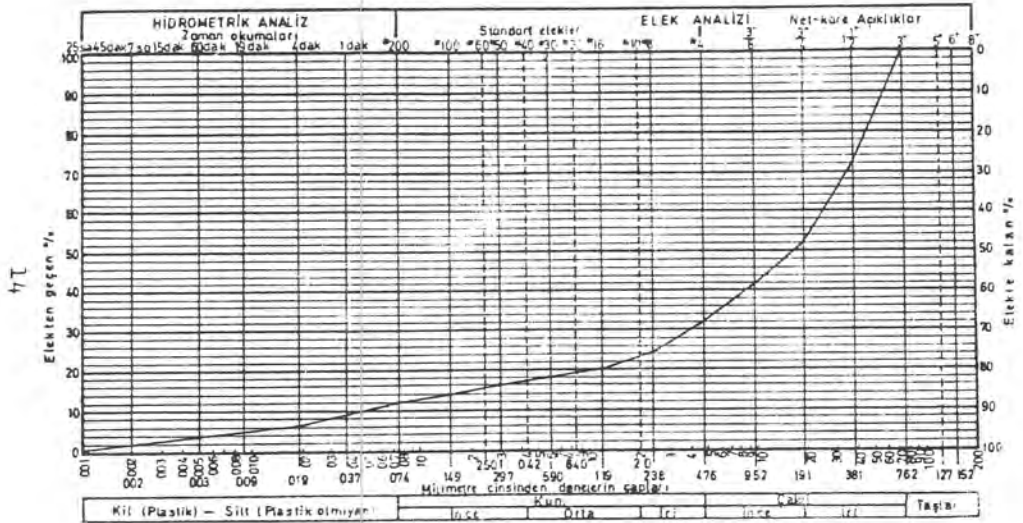
Soru: Şekil 4 de verilen tane dağılım eğrisinden çakıl, kum ve ince yüzdelerini bulunuz ?

Çözüm: Çakıl: % 68 Kum: % 20 İnce: % 12

### 3.2. İnce Malzeme Miktarı

İnce malzemenin küçük miktarları (200 nolu elek altı), kum ve çakıl zeminlerin mühendislik özelliklerini önemli oranda etkilemektedir. İri taneli zemine % 10 kadar ince malzemenin ilave edilmesi, o zeminin geçirimsizlik değerini etkileyebilmektedir. Örneğin, serbest drenaajlı zemin nispi olarak geçirimsiz zemine dönüşebilmektedir. Ancak bu durumdaki zeminde don problemi ortaya çıkabilir. Hafif yollarda kullanılan iri taneli malzemelerinin fiziksel ve mekanik özellikleri, ince malzeme ilave edilmesiyle geliştirilebilmektedir.

İnce taneli zeminler, "temiz kum veya çakıl" ve "inceli(kirli) kum ve çakıl" olarak yeniden sınıflandırılabilir. Temiz çakıl ve kumlar, % 5



Şekil 4. Tane dağılım eğrisi (Örnek 3)

den az ince malzeme ihtiva ederler. İnceli (kirli) kum ve çakıllar ise, % 12 den daha fazla ince malzeme ihtiva etmektedirler. İnce'den kasıt 200 nolu eleğin altına geçen ( 75 µm dan küçük tane çaplı) malzeme, yani kil ve silttir. % 5-12 arasında ince ihtiva eden zeminler ise, Bölüm 5 de tartışılacağı gibi "sınır zemin" olarak bilinmektedir. % 12 den fazla ince ihtiva eden iri taneli malzeme "kirli kum ve çakıl" olarak bilinir. Ancak "kirli" tabiri resmi kayıtlarda, raporlarda ve loglarda kullanılmamalıdır.

#### ÖRNEK 4

Soru: Şekil 5 de verilen tane dağılım eğrilerini kullanarak çakıl, kum ve ince miktarlarını yüzde olarak belirleyiniz ve aşağıda verilen seçeneklerden uygun olanı işaretleyiniz?

ince taneli	inceli (kirli) kum
temiz kum	inceli (kirli) çakıl
temiz çakıl	

Çözüm: A Eğrisi

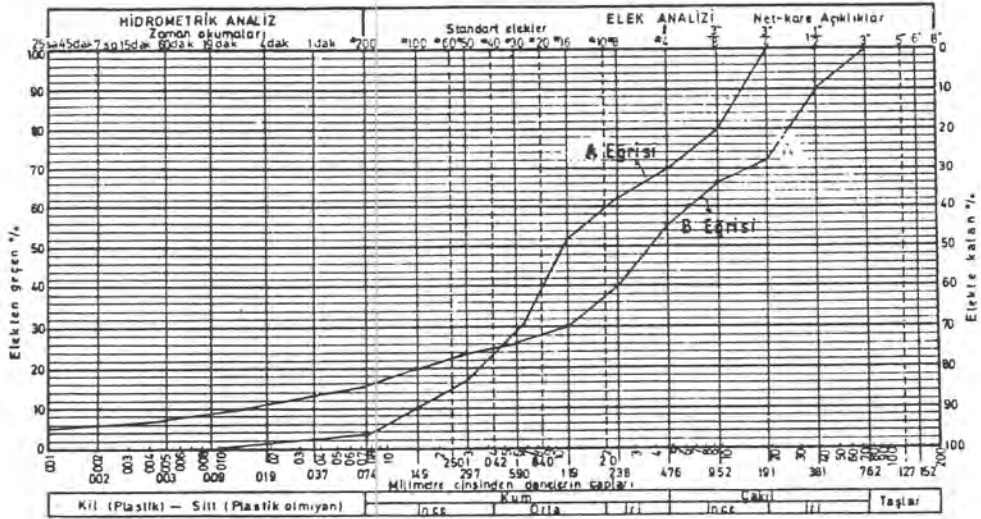
Çakıl: % 30 Kum: % 67 İnce: % 3

Temiz kum

B Eğrisi

Çakıl: % 45 Kum: % 40 İnce % 15

İnceli (kirli) çakıl



Şekil 5. Tane dağılım eğrisi (Örnek 4)

### 3.3. Tane Dağılımı- İyi ve Kötü Derecelenme

Sınıflama sembolleri: GW,GP,SW,SP

Temiz kum veya çakıllar, "iyi dereceli" ve "kötü dereceli" olarak iki grupta sınıflandırılır. Bu sınıflama, tane dağılım eğrisinin şekline bağlıdır. "iyi dereceli" tabiri (W sembolü), küçükten büyüğe bütün zemin taneciklerinin en iyi şekilde temsil edildiği zeminler için kullanılır. Kötü derecelenmiş zeminlerde (P sembolü), ya bir tane büyüklüğü hakimdir veya bir veya daha fazla tane büyüklükleri zemin içinde bulunmamaktadır. Eğer zeminin tüm tanecikleri yaklaşık olarak eşit yüzdelere dağılmışlarsa, zemin "üniform" olarak tanımlanır. Eğer zemin içinde bir veya daha fazla tane büyüklüğü hakim ise, bu zemin "atlamalı derecelenmiş" olarak adlandırılır [3].

Tane dağılım eğrisinde büyüklüklerin aralığını ve eğrinin şeklini veri olarak kullanmak için iki kriter tanımlanmıştır.

1. Üniormluk Katsayısı ( $C_u$ )
2. Eğrilik katsayısı ( $C_c$ )

Bu terimleri hesaplamak için 3 tane boyutu (mm büyüklüğünde), tane dağılım eğrisinden bulunur. Bu üç büyüklük  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  ve  $D_{60}$  olarak gösterilir ve elekten geçen malzemenin sırasıyla % 10, % 30 ve % 60'ına karşılık gelen tane çapını milimetre boyutunda temsil eder. Yani  $D_{10}$ , tane dağılımının % 10'unun daha küçük olduğu tane boyutudur. Aşağıdaki örneklerden görüleceği gibi sol eksen (geçen yüzde) % 10 bulunur ve yatay olarak tane dağılım eğrisi kestirilir ve bu kesişim noktasından düşey olarak aşağıya inilerek tane çapı eksenine kestirilir. Bu tane çapı (mm büyüklüğünde),

o zeminin % 10 unun bu çaptan küçük olduğu büyüklüğü verir. Aynı işlem,  $D_{30}$  ve  $D_{60}$  içinde yapılır. Uniformluk Katsayısı ( $C_u$ ),  $D_{60}$  ve  $D_{10}$  un oranıdır

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

Eğrilik Katsayısı ( $C_c$ ),  $D_{30}$  un karesinin,  $D_{60}$  ve  $D_{10}$  ile bölünmesinden elde edilir.

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

#### ÖRNEK 5

Soru: Şekil 6 da verilen tane dağılım eğrisinden  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  ve  $D_{60}$  a karşılık gelen tane çaplarını bulunuz ?

Çözüm:  $D_{10} = 0.3$      $D_{30} = 3.8$      $D_{60} = 20.0$  mm

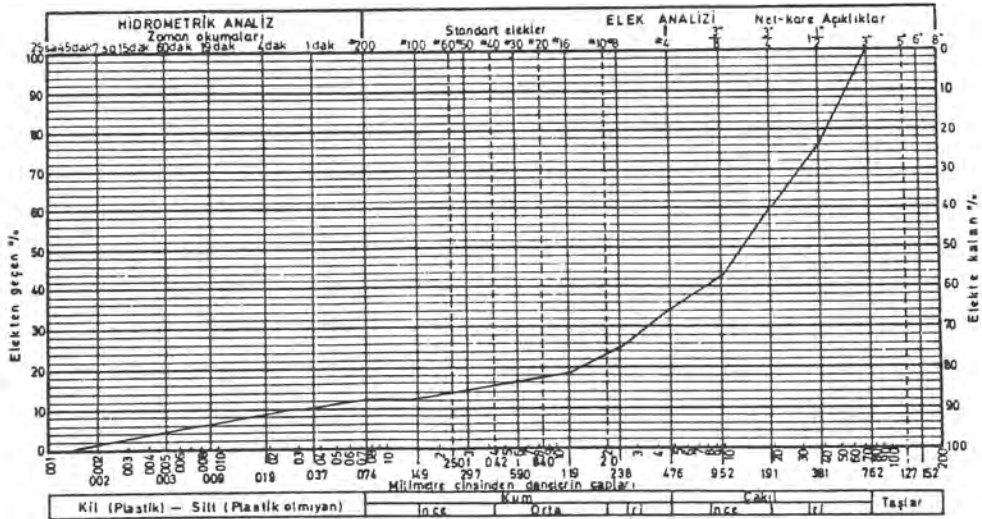
#### ÖRNEK 6

Soru: Aşağıda verilen değişik tane dağılım eğrilerinden  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  ve  $D_{60}$  büyüklüklerini bulunuz ?

- Örnek 3 deki tane dağılım eğrisi
- Örnek 4 deki tane dağılım eğrileri



6T



Şekil 6. Tane dağılım eğrisi (Örnek 5)

Çözüm: a)  $D_{10} = 0.048 \text{ mm}$   
 $D_{30} = 4.0 \text{ mm}$   
 $D_{60} = 25.0 \text{ mm}$

b)	<u>A eğrisi</u>	<u>B eğrisi</u>
	$D_{10} = 0.149 \text{ mm}$	$D_{10} = 0.013 \text{ mm}$
	$D_{30} = 0.67 \text{ mm}$	$D_{30} = 1.19 \text{ mm}$
	$D_{60} = 2.1 \text{ mm}$	$D_{60} = 6.7 \text{ mm}$

### ÖRNEK 7

Soru: Aşağıda 3 farklı zemin için  $D_{10}$ ,  $D_{30}$  ve  $D_{60}$  büyüklükleri verilmiştir.  $C_u$  ve  $C_c$  katsayılarını bulunuz?

a)	$D_{10} = 0.3 \text{ mm}$	$C_u = ?$
	$D_{30} = 4.1 \text{ mm}$	$C_c = ?$
	$D_{60} = 17.0 \text{ mm}$	
b)	$D_{10} = 0.08 \text{ mm}$	$C_u = ?$
	$D_{30} = 0.16 \text{ mm}$	$C_c = ?$
	$D_{60} = 0.40 \text{ mm}$	
c)	$D_{10} = 0.15 \text{ mm}$	$C_u = ?$
	$D_{30} = 1.19 \text{ mm}$	$C_c = ?$
	$D_{60} = 4.2 \text{ mm}$	

Çözüm:

$$\begin{aligned} \text{a) } C_u &= \frac{D_{60}}{D_{10}} = \frac{17.0}{0.3} \\ &= 56.66 \end{aligned}$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{(D_{60})(D_{10})} = \frac{(4.1)^2}{(17.0)(0.3)}$$

3.30

$$\text{b) } C_u = 5.0$$

$$C_c = 0.8$$

$$\text{c) } C_u = 28.0$$

$$C_c = 2.25$$

İyi derecelenmiş çakıl için Uniformluk Katsayısı 4 den büyük olmalı ( $C_u > 4$ ) ve Eğrilik Katsayısı 1 ile 3 arasında bulunmalıdır ( $C_c = 1-3$ ). İyi derecelenmiş kum için ise  $C_u$ , 6 dan büyük olmalı ( $C_u > 6$ ) ve  $C_c$ , çakılda olduğu gibi yine 1 ile 3 arasında bulunmalıdır ( $C_c = 1-3$ ). Bu şartları sağlamayan kum ve çakıllar, kötü dereceli olarak vasiplendirilirler (Tablo 2).

Tablo 2. İyi ve kötü derecelenme

Tanımlama	Malzeme	Üniformluk katsayısı $C_u$	Eğrilik katsayısı $C_c$
İyi derecelenmiş	Çakıl	$> 4$	1 - 3
	Kum	$> 6$	
Kötü derecelenmiş	Çakıl	$\leq 4$	$< 1$ veya $\geq 3$
	Kum	$\leq 6$	

ÖRNEK 8

Soru: Aşağıda verilen katsayı ve zemin yüzdelere göre sınıflama sembolünü belirleyiniz ?

- |                             |               |
|-----------------------------|---------------|
| a) $C_u = 56$ $C_c = 2.8$   | <u>Sembol</u> |
| Çakıl: % 76                 | <u>?</u>      |
| b) $C_u = 3.8$ $C_c = 0.7$  |               |
| Kum: % 100                  | <u>?</u>      |
| c) $C_u = 19.5$ $C_c = 1.9$ |               |
| Kum: % 65                   | <u>?</u>      |
| d) $C_u = 20.8$ $C_c = 3.9$ |               |
| Çakıl: % 72                 | <u>?</u>      |

Çözüm: a) GW    b) SP    c) SW    d) GP

### 3.4. Siltli ve Killi İri Taneli Zeminler

Sınıflama sembolleri: GM,GC,SM ve SC

Kum ve çakıl % 12 den daha fazla ince ihtiva ediyorsa,zemin ince malzemenin kil ve silt olma durumuna göre sınıflandırılır.İnce malzemenin cinsini belirlemek için Plastik ve Likit Limitler bulunmalıdır.Likit Limit(LL) ve Plastisite İndisinin(PI) bulunmasıyla ince malzemenin cinsi belirlenebilir.Eğer LL ve PI değerleri "A" çizgisinin üstünde keşişiyorsa,zemin kıldır.Aksi durumda,yani keşişmeni "A" çizgisinin altında olması halinde,zemin silt olacaktır.NP terimi ise plastik olmayan zemini temsil etmek için kullanılır.İnce malzemenin cinsini belirlemek için Şekil 8 de verilen Plastisite Kartı kullanılır.

#### ÖRNEK 9

Soru: Aşağıda Kane dağılım ve kıvam özellikleri verilen zeminin sınıflama sembolünü belirleyiniz ?

Çakıl: % 7 Kum: % 49 İnce: % 44

LL = 30 PL = 26

Çözüm: Kane dağılım analizine göre zemin kumdur. Zeminin Likit Limit ve Plastisite İndisine göre Plastisite Kartında keşişme "A" çizgisinin altında bulunmuştur.Yani zeminin ince bölümü silttir.Bu duruma göre zemin siltli kumdur.

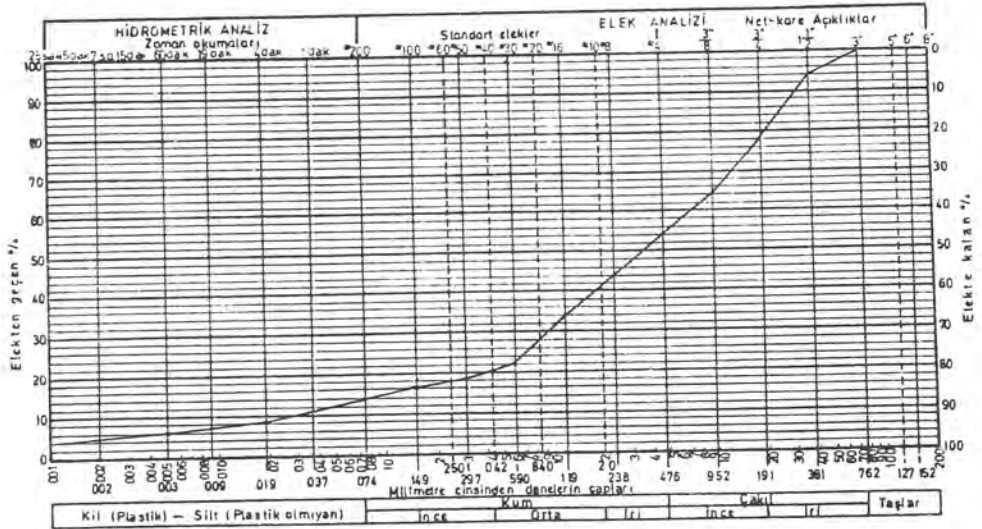
Sınıflama sembolü: SM

ÖRNEK 10

Soru: Şekil 7 de verilen tane dağılım eğrisinden grup sembolünü bulunuz? Zeminin 40 nolu elek altına geçen bölümü üzerinde kıvam limitleri deneyleri yapılmamıştır.

Çözüm: İnce malzeme % 12 nin üzerinde ve plastik değildir(NP karakterinde),yani silttir.İri taneli zeminin ise % 53 ü çakıldır.

Netice olarak sınıflama sembolü: GM



Şekil 7. Tane dağılım analizi (Örnek 10)

#### 4. İNCE TANELİ ZEMİNLER

Eğer zeminin % 50 sinden fazlası 75 µm dan küçük ise (200 nolu elekten geçiyor ise), bu zemin ince taneli olarak adlandırılır. Bu zeminler, aşırı plastik veya elastik zeminler(H) ve az plastik veya plastik olmayan zeminler(L) olmak üzere ikiye ayrılırlar. Her grupta üç alt sınıf vardır: kil(C), silt(M) ve organik(O).

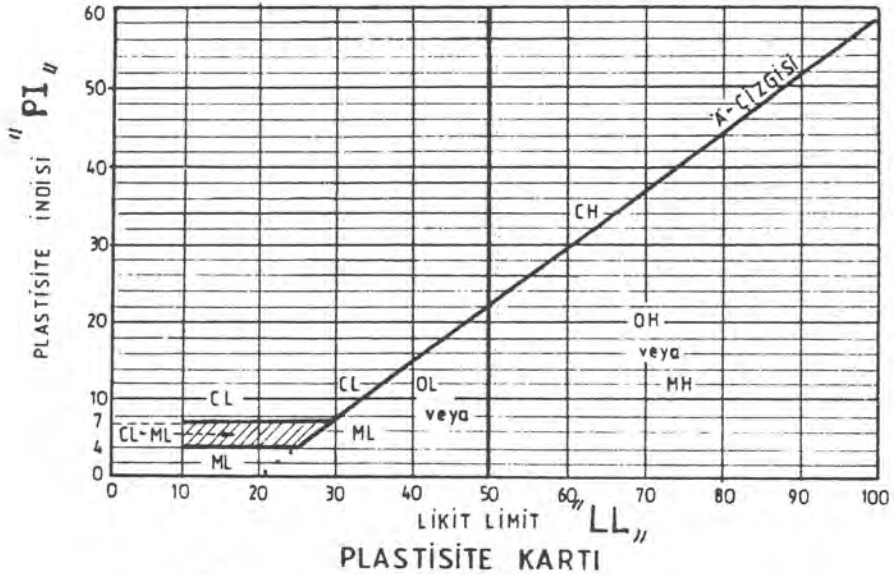
İnce taneli zeminlerin sınıflaması, 425 µm dan küçük (40 nolu elek altı) malzemenin PI ve LL değerlerine bağlıdır. Yani kil ve siltler, tane dağılımına bağlı olmadan kendi davranışları ile ayırt edilirler.

Likit Limitleri 50 nin üzerinde olan siltler, killeri ve organik zeminler, elastik veya yüksek derecede plastik zeminlerdir ve "H" harfiyle temsil edilirler. Eğer Likit Limit 50 nin altında ise, zemin elastik değildir veya ortadan düşüğe plastisitelidir. Bu tür zeminler, "L" harfiyle gösterilirler. Plastisite Kartındaki A çizgisi, silt ve killeri ayırır (Şekil 8). Siltler "A" çizgisinin altında, killeri ise üstündedir. Organik maddeler ise renkleri (siyah veya koyu gri), kokusu ve organik dokuların veya diğer maddelerin varlığı ile belirlenir.

Aşağıda izah edilen ince taneli zeminlerin sınıflaması, diğer zemin tipleriyle birlikte toplu olarak Birleştirilmiş Sınıflama Çizelgesinde verilmektedir. İnce taneli zeminlerin sınıflamasında kullanılan sembolleri özetlemekte yarar vardır.

- C - Kil
- M - Silt
- L - Düşük plastisite
- H - Yüksek plastisite





Şekil 8. İnce taneli zeminler için laboratuvar sınıflaması.

Likit LimitSınıflama

&lt; 50

- ML - Organik olmayan siltler ve çok ince kumlar, kaya unu, siltli veya killi ince kumlar (düşük plastisiteli)
- CL - Organik olmayan killer (düşük-orta plastisiteli), çakıllı killer, yağsız ince killer
- OL - Organik siltler ve düşük plastisiteli organik silt ve killer

&gt;50

- MH - Organik olmayan siltler, mikalı ve diatomik kumlu (ince) ve siltli zeminler, elastik siltler (düşük-orta plastisiteli)
- CH - Yüksek plastisiteli organik olmayan killer, şişebilir killer
- OH - Organik killer( orta-yüksek plastisiteli)

ÖRNEK 11

Soru: Aşağıda değişik zeminler için tane dağılım yüzdeleri ve ilgili zeminin 425 µm dan küçük (40 nolu elekaltı) bölümüne ait kıvam limitleri verilmektedir. Her zemin için sınıflama grup sembolünü yazınız ?

- a) Çakıl: % 25 Kum: % 7 İnce: % 68  
LL = 68 PI = 26
- b) Çakıl: % 30 Kum: % 50 İnce: % 20  
LL = 33 PL = 30
- c) Kum: % 4 İnce: % 96  
LL = 52 PI = 48
- d) Çakıl: % 2 Kum: % 46 İnce: % 60  
LL = 40 PI = 20
- e) Çakıl: % 20 Kum: % 20 İnce: % 60  
LL = 10 PI = 2

Çözüm: a) MH b) SM c) CH d) CL e) ML

## 5. SINIR ZEMİNLER

Zeminler, sınıflama gruplarının ikisinin karakterine sahip olabilirler. Bu durumdaki zeminler, SC-CL, SW-SC gibi çift sembolü olarak gösterilirler ve "sınır zeminler" olarak adlandırılırlar.

### 5.1. İri Taneli Zeminler

İnce % 5 den az (temiz) (GW, GP, SW, SP)

Muhtemel çift semboller: GW - SW  
GP - SP

Eğer zeminin % 95 i iri taneli, ve kum ve çakıl yüzdeleri eşit ise çift sembol kullanılır. Bu durumdaki zemin iyi derecelenmiş ise, GW - SW; kötü derecelenmiş ise, GP - SP çift sembolü ile gösterilir.

İnce % 12 den fazla (GM, GC, SM, SC)

Muhtemel çift semboller: GM - GC  
SM - SC  
GM - SM  
GC - SC

- Eğer malzemenin açık olarak çakıl olduğu belirli ancak ince malzeme silt ve kil sınırında ise, malzeme GM - GC dir.



Tablo 3. İri taneli zeminlerde çift sembol kullanımı.

Malzeme	Tane dağılımı	İnce malzeme karakteri	
		Siltli (M)	Killi (C)
Çakıl (G)	İyi dereceli (W)	GW_GM	GW_GC
	Kötü dereceli (P)	GP_GM	GP_GC
Kum (S)	İyi dereceli (W)	SW_SM	SW_SC
	Kötü dereceli (P)	SP_SM	SP_SC

### ÖRNEK 12

Soru: Aşağıdaki zeminleri sınıflayınız?

a) Çakıl: % 48 Kum: % 48 İnce: % 4

$$C_u = 4.6 \quad C_c = 2.2$$

b) Çakıl: % 32 Kum: % 32 İnce: % 36

$$PI = 20 \quad LL = 45 \quad C_u = 1.7 \quad C_c = 1.7$$

c) Çakıl: % 42 Kum: % 26 İnce: % 32

$$PI = 20 \quad LL = 47$$

d) Çakıl: % 40 Kum: % 50 İnce: % 10

$$PI = 9 \quad LL = 44 \quad C_u = 3.0 \quad C_c = 3.0$$

e) Çakıl: % 80 Kum: % 13 İnce: % 7

$$PI = 29 \quad LL = 44 \quad C_u = 5.6 \quad C_c = 2.6$$

- Çözüm: a) GW - SW      b) GM - SM  
c) GM - GC      d) SP - SM  
e) GW - GC

## 5.2. İnce Taneli Zeminler

Eğer LL ve PI değerleri, A çizgisi üzerinde veya yakınında kesişmiş veya LL=50 çizgisi üzerine düşüyorsa, zemin çift sembolle gösterilir. Ayrıca Plastisite Kartında taralı bir bölge vardır. Yani PI, 4 ile 7 ve LL, 10 ile 25 arasında ise, çift sembol kullanmak gerekmektedir. Bu duruma ait muhtemel semboller aşağıda verilmiştir.

ML - MH

CL - CH

OL - OH

CL - ML

CL - OL

MH - CH

CH - OH

### ÖRNEK 13

Soru: Aşağıda tane dağılım ve kıvam özellikleri verilen zeminlerin sınıflama sembollerini belirleyiniz ?

a) Çakıl: % 6 Kum: % 30 İnce: % 64

LL= 18 PI= 6

b) Çakıl: % 20 Kum: % 4 İnce: % 76

LL= 50 PL= 17

Çözüm: a) CL - ML b) CL - CH

### 5.3. İri ve İnce Taneli Zeminlerin Birleşimi

Eğer zemin % 50 ince ve % 50 iri taneli malzemeden oluşuyor ise, zeminin ince ve iri taneli bölümlerine ait semboller birlikte kullanılır. Öncelikle iri taneli malzemenin cinsi, kum veya çakıl (S veya G) olarak belirlenir. Zeminin iri taneli bölümünün ikinci harfi, ince taneli bölümün özeliğine bağlıdır (M veya C). Sonra ince malzeme sınıflandırılmalı ve ikinci sembolün ikinci harfine uygun sembol belirlenmelidir.

Muhtemel çift semboller: GM - ML SM - ML

GM - MH SM - MH

GC - CL SC - CL

GC - CH SC - CH



#### 5.4. Laboratuvar Sınıflamasında Çift Sembolün Yeri

Çift semboller, zemin özelliklerinin iki farklı gruba girmesi durumunda kullanılır. Örneğin GW-SW çift sembolünde malzeme % 50 çakıl ve % 50 kum ihtiva etmektedir. Aynı zamanda çift semboller, zeminin mühendislik özelliklerinin değişkenliğini vurgulamak amacıyla da kullanılır. Çift sembollerin belirlenmesinde katı bir kural yoktur. Eğer aynı sahada değişik zeminler sınıflanmış ise, benzerliklere önem vermek gerekmektedir. Örneğin LL=47 olan killi bir zemin, CL veya CL-CH olarak tanımlanabilir. Eğer aynı sahadaki diğer numuneler CL olarak tanımlanmış ise (LL=35-40), bu zemin muhtemelen CL olarak verilmelidir. Eğer diğer numunelerin Likit Limiti 55 veya daha yukarıda ise, zemin CH olarak tanımlanır veya eğer Likit Limit 50 den büyük ancak bu sahadan alınan diğer zemin numuneleri ile benzerlik arz ediyorsa, CL-CH sembolü kullanılabilir.

Sınır zeminlerin sınıflamasında aşağıda verilen genel kurallara uyulmalıdır.

1. Eğer LL, 45-55 arasında ise çift sembol kullanılır (CL-CH, ML-MH gibi).
2. İnce malzeme miktarı % 45-55 arasında ise, GC-CL, SM-ML gibi çift sembol kullanılır. Benzerlikler dikkate alınırsa, bu limitler 40-60 aralığına genişletilebilir.
3. Eğer kum ve çakıl yüzdeleri % 10 gibi bir oranla birbirine yakın ise; GW-SW, GM-SM gibi çift sembol kullanılır.
4. "A" çizgisine çok yakın düşen zeminler, CL-ML, MH-CH gibi çift sembolle gösterilir.

5.Çift sembolde önce zemine hakim olan malzeme ait sembol kullanılır.

Örnek: % 52 kum ve % 48 çakıl için SW-GW  
% 52 çakıl ve % 48 kum için GW-SW

6. Plastisite Kartının iki ekseninde de sınır durumda bulunan zeminler için en belirgin veya veya en kritik sembol kullanılır.

Örnek: LL = 50 PI = 22 için CL-CH (veya MH-CH)  
Kum: % 25, Çakıl: % 25, Kil: % 50 için  
GC-CL

Yukarıda izah edilen sınır zeminler için sembol kullanımı, Şekil 9 da özet olarak verilmektedir.

#### ÖRNEK 14

Soru: Aşağıdaki zeminlerin sınıflama grup sembolünü belirleyiniz?

a) çakıl: % 22 kum: % 22 ince: % 56  
PI = 22 LL = 50  $C_u = 12$   $C_c = 2.2$

b) çakıl: % 36 kum: % 14 ince: % 50  
PI = 20 LL = 30  $C_u = 5.6$   $C_c = 3.0$

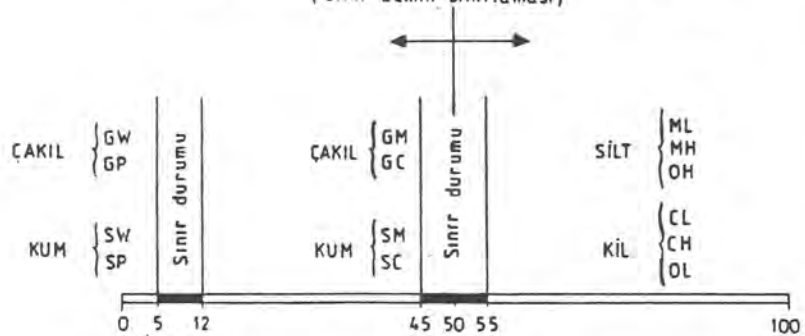
c) çakıl: % 22 kum: % 72 ince: % 6  
PI = 22 LL = 40  $C_u = 4.0$   $C_c = 4.0$

d) çakıl: % 76 kum: % 20 ince: % 4  
İnce plastik değil (NP)  $C_u = 2.6$   $C_c = 1.4$

Çözüm: a) ML-MH b) GC-CL c) SP-SC d) GP

## BİRLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN SINIFLAMA SİSTEMİ

(Sınır zemin sınıflaması)



*ince*  
ŞEKİL 9. Zeminlerin sınıflanmasında sınır durumları.

Projeciler, toprak yapılarında kullanılacak zeminlerin özelliklerini bilmek zorundadırlar. Bu özellikleri elde etmek için ödünç malzeme sahalarından alınan numuneler üzerinde zemin sınıfı, kıvam limitleri, tane dağılımı, özgül ağırlığı ve sıkışması gibi zeminin temel özellikleri bulunur. Ayrıca zemine ait permeabilite, konsolidasyon ve kayma direnci değerleri ise temsili numunelerden elde edilir.

Toprak yapılarında kullanılacak zeminlerin fiziksel özellikleri toplu olarak rapor edilir (Şekil 10 ve 11). Bu raporlarda, bu kitabın konusunu teşkil eden zeminin sınıflama sembolü yanında özgül ağırlık, birim ağırlık, kıvam limitleri, sıkışma yoğunluğu, ve basınç ve kayma direnci gibi diğer fiziksel ve mekanik özellikler de bulunmalıdır.

TANIMLAMA VE MÜHENDİSLİK  
DENEYLERİ RAPORU

Numunenin orijini yer : %  
Numunenin ait olduğu yer : ÖRNEK

39

1	2	3	4	5					7	8	9	10		11		12	13					
				Kampaniyon		Asterberg Sonneti						Tebit ve Hücrelilik W %	Fosfor A %	Pima- silis K mg/kg	Direk kesme			Üç üsluk kesme		Serbest bakter % Kp/cm <sup>2</sup>	Sind. ve Grip arabaki	
				Üçlü	W <sub>100</sub>	EL	PL	PI							EL			C Kp/cm <sup>2</sup>	B*			C Kp/cm <sup>2</sup>
	A	BAHAZI																				
101		2.62	1648	19.5	38.6	19.6	19.0	-	17.6	36	4.7x10 <sup>7</sup>	-	-	0.91	20		CL					
105		2.60	1820	14.6	23.0	15.7	7.3	-	14.0	33	6.4x10 <sup>6</sup>	-	-	0.76	28		SC					
	B	BAHAZI																				
201		2.58	1810	16.2	38.9	17.5	15.4	-	16.0	46	3.8x10 <sup>7</sup>	-	-	0.80	20		GC-CL					
203		2.64	1922	12.2	24.9	16.8	8.1	-	11.8	-	5.9x10 <sup>7</sup>	-	-	-	30		GC					
205		2.62	1812	14.6	28.7	20.4	8.3	-	13.8	-	5.8x10 <sup>7</sup>	-	-	-	32		GC					

NOTLAR :

KONTROL

DSİ GENEL MÜDÜRLÜĞÜ

18... Bölge Müdürlüğü

MİK. KALIN SEMENT ÜRÜNLERİ

Nümuneleri gönderen daire : ÖRNEK

Nümunelerin ait olduğu proje : .....

## AGREGA FİZİKİ DENEYLER RAPORU

/ /

Ünvanı No	Nümunesi No	Kuru ağırlık (kg/cm <sup>3</sup> )		Doğru ağırlık (g/cm <sup>3</sup> ) ve % oranı (%)		200 Mik. geçen geçim miktarı (%)		Kütle oranları miktarı (%)		Organik madde oranı	İzoterm şişer den kayış- (%)		Laz Angerler eşitme kayış- (%)		DİĞİNCİLER
		Kum	Çakıl	Kum	Çakıl	Kum	Çakıl	Kum	Çakıl		Kum	Çakıl	100 Devir	200 Devir	
	A SAHASI														
5	101	1.70	1.75	2.60 2.3	2.63 1.7	5.4	0.8			Ser 1	5.4	3.6	1.8	6.9	
6	113	1.70	1.74	2.65 1.9	2.66 1.7	4.2	1.0			Ser 1	5.0	2.7	2.1	7.6	
7	120	1.72	1.75	2.63 2.0	2.64 1.8	5.6	1.1			Ser 1	5.6	2.6	1.8	7.5	
	B SAHASI														
8	105	1.60	1.60	1.58 3.5	1.59 2.9	4.7	1.0			Ser 1	18.6	16.3	3.7	21.5	
9	117	1.61	1.60	1.60 3.1	1.60 2.6	5.9	1.1			Ser 1	17.3	1.76	3.9	20.9	
10	131	1.58	1.61	1.58 3.9	1.59 3.6	9.6	1.0			Ser 1	8.6	12.4	4.2	22.0	
M = 11															KONTROL

## KAYNAKLAR

- [1] USBR,1987,Design of Small Dams:Bureau of Reclamation-Engineering and Research Center,Third Edition,Denver-Colarado, 860 sayfa.
- [2] USBR,1974,Earth Manual:A Water Resources Technical Publication,Denver-Colorado, 810 sayfa.
- [3] USBR,1977,Laboratory Classification of Soils (Unified Soil Classification System): Bureau of Reclamation Geotechnical Branch Training Manual No.4,Denver-Colarodo.
- [4] USBR,1980,Visual Soil Classification: Bureau of Reclamation,Geotechnical Branch Training Manual No.5,Denver,Colarodo.
- [5] ERTAN,Y.,ve ULKU,S.,1978,Zemin Özellikleri ve Deneyleleri(1): DSI Genel Müdürlüğü, Yayın no:871,208 sayfa.
- [6] NAVY,1982,Soil Mechanics(Design Manual 7.1): Department of the NAVY,Naval Facilities Engineering Command,sayfa:1-16.
- [7] SOWERS,G,B.,and SOWER,G,F.,1970,Introductory Soil Mechanics and Foundations: Macmillian Company,New York.

