

ZEMİN MEKANİĞİ

Laboratuvara Giriş ve Zemin Sınıfları

1. Amacı

- ✓ Zemin mekaniği laboratuvarı hakkında genel bilgi
- ✓ Zemin sınıfları ve arasındaki temel farklar

2. Numune

- ✓ Örselenmiş Numune
Fiziksel Özellikleri (Tane dağılımı, Kıvam limitleri vb.)
- ✓ Örselenmemiş Numune
Mühendislik Özellikleri (Kohezyon, Sürtünme Açısı vb.)

3. Zemin Sınıfları

- ✓ İri taneli zeminler
Çakıl, Kum
- ✓ İnce taneli Zeminler
Silt, Kil

4. Pratik Testler

4.1 Kuru Dayanım

Zemin ve su karıştırılarak küre haline getirilmesi ile elde edilen zemin topları kuruması için bir gün bekletilir. Kuruyan zemin toplarına aşağıdaki işlemler parçalanıncaya kadar sırasıyla uygulanır;

- İki parmağımızla kaldırın. → Kırıldıysa, kuru dayanımı yok.
- İki parmağınızın arasında çevirin. →Kırıldıysa, düşük kuru dayanıma sahip.
- Elinizin ayası üzerinde başparmağınız ile bastırın. →Kırıldıysa, orta kuru dayanıma sahip.
- Masa üzerinde başparmağınız ile bastırın. →Kırıldıysa, yüksek kuru dayanıma sahip.
- Masa üzerinde spatula ile bastırın.→ Kırıldıysa, çok yüksek kuru dayanıma sahip.

4.2 Genleşim

Görev: Siltin genleşmesini kullanarak siltin mi yoksa kilin mi davranışının daha etkin olduğunu belirlemek.

- Avuç içimizde bir miktar zemin ile su karıştırılır.

- Karşım düzgün bir yüzey elde edilir.
- Diğer elimizle avucumuza saniyede 3-4 kere vurulur. Bu işleme 10 saniye devam edilir.
- Yüzeyde parlaklık gözlenir. Parlak yüzey zeminin içerisindeki suyun dışarı çıkması anlamına gelir ve zeminin hacmi artar.
- Avucumuzu kapatıp tekrar açalım. Suyun yeniden emilip emilmemesini gözlemleyelim.

ZEMİN MEKANİĞİ

Elek Analizi ile Tane Boyu Dağılımı

1. Amacı

- ✓ Tane boyu dağılımını iri taneli zeminler ($\geq 75\mu\text{m}$) için belirlemek.

2. Malzemeler

- ✓ Elek setleri
- ✓ Elek sallayıcı
- ✓ Tartı

3. Genel kurallar

- ✓ Elek üzerinde çok fazla miktarda zemin varsa, zemin taneleri elekten geçmeyebilir. Deney yaparken her elek için verilen maksimum ağırlıklara dikkat edilmelidir. (Bakınız Standart Elekler s.3)
- ✓ Zemin taneleri elek içinde sıkışırsa itmeyin. Fırça ile temizlemeye çalışın.
- ✓ Fırçalama işlemi yeterli gelmiyorsa eleği masaya vurun.

4. Numune hazırlama

- ✓ Numuneye ait toplam kuru ağırlık belirlenir. Eğer numune nemli ise, iki farklı yöntem var;
 1. Numunenin su muhtevası belirlenerek, toplam kuru ağırlık hesaplanabilir.
 2. Numune etüvde kurutulur.
- ✓ Zemin taneleri bir araya gelerek daha büyük tane boyuna sahipse, zemin taneleri birbirinden ayrılmalıdır.

5. Kalibrasyon

- ✓ Deneye başlamadan önce bütün elekler kontrol edilmelidir. Hatalı olan elekler kullanılmamalıdır.
- ✓ Numuneye uygun elek seti seçilmelidir.
- ✓ Elek seti belli aralıklarla kalibrasyonu yapılmış kum ile kontrolü yapılmalıdır.

6. Deney

- a) Kuru numune ağırlığı belirlenir. Numune yaş ise su muhtevası belirlenip, kuru ağırlık tespit edilir.
- b) Numuneye uygun elek seti seçilir.
- c) Elekler, küçük boyuttan büyük boyuta doğru üst üste koyulur.
- d) Numune en üsteki elekten içeriye doğru boşaltılır.
- e) En üsteki eleğin üzeri kapatılır.

- f) Elek seti, elek sallayıcının üzerine koyulur. Elek seti, sallayıcı ile 10 dakika boyunca sallanır. Sallama işlemi el ile yapılabilir.
- g) Elek sallama işlemini kontrol etmek için her bir elek beyaz bir kâğıt üzerinde yavaşça sallanır. Bu işlem sırasında hala zemin taneleri elekten geçmeye devam ediyorsa, sallama işlemi birkaç dakika daha devam etmelidir.
- h) Elekler üzerinde kalan numune ağırlıkları, en üst elekten başlayıp en alttaki eleğe kadar tek tek tespit edilir.
- i) Bu aşamada her elek için belirtilmiş, maksimum numune ağırlıklarına dikkat edilmelidir.

7. Hesaplamalar

- ✓ Hesaplama işlemleri her elek üzerinde kalan numune ağırlıklarına göre yapılacaktır.

Her bir elek için, geçen yüzde (%P);

$$\%P = \frac{\text{Elekten geçen zemin miktarı (g)}}{\text{Elemeye tabi tutulan tüm zemin (g)}} \times 100$$

8. Sonuçlar

- ✓ Tane boyu dağılım eğrisi
- ✓ D₁₀, D₃₀, D₆₀
- ✓ Üniformaluluk katsayısı ve Derecelenme Katsayısı
- ✓ Standartlara göre sınıflandırma

Standart elekler;

Elek No	Açıklık Boyutu	Zemin sınıfları limitleri	Maksimum elek yükü (g)
1 in.	25.4mm		
3/4 in.	19 mm	İri-İnce Çakıl	900
1/2 in.	12.7 mm		
3/8 in.	9.51 mm		550
1/4 in.	6.35 mm		
No. 4	4.76 mm	Çakıl-Kum	325
No. 5	4.00 mm		
No. 6	3.36 mm		
No. 8	2.38 mm		
No. 10	2.00 mm	İri-Orta Kum	180
No. 12	1.68 mm		
No. 16	1.19 mm		
No. 20	841 µm		115
No. 25	707 µm		
No. 30	595 µm		
No. 35	500 µm		
No. 40	420 µm	Orta-İnce Kum	75
No. 45	345 µm		
No. 50	297 µm		
No. 60	250 µm		60
No. 70	210 µm		
No. 80	177 µm		
No. 100	149 µm		40
No. 120	125 µm		
No. 140	105 µm		60
No. 170	88 µm		
No. 200	74 µm	Kum-Silt	20
No. 325	44 µm		

ZEMİN MEKANİĞİ
Elek Analizi ile Tane Boyu Dağılımı

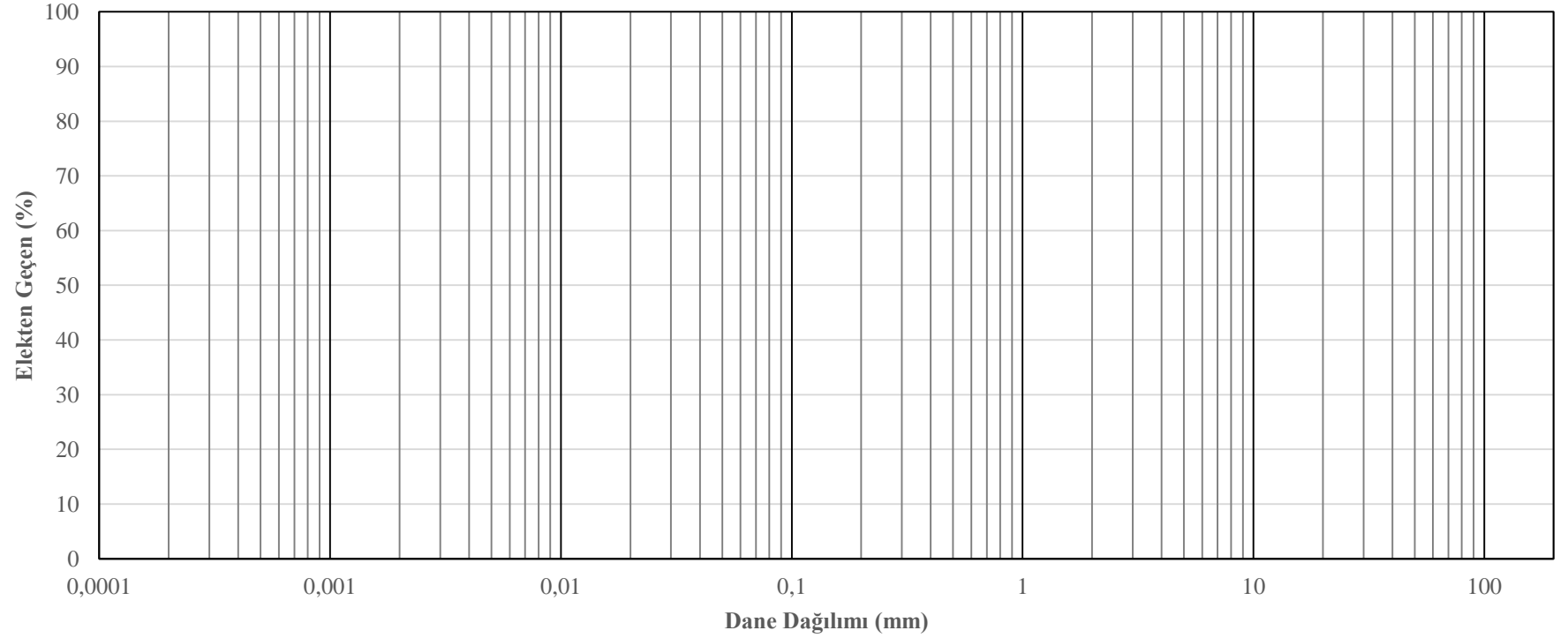
Tarih*			
Yapan*			
Toplam kuru zemin ağırlığı*	M		g
Toplam kuru granüler zemin ağırlığı*	M _{gr}		g

Deney Elekları						
Elek No*	Elek Açıklığı (mm)*	Elek üstü kalan (g)	Kümülatif kalan (g)	Kümülatif kalan (%)	Kümülatif geçen (%)	Maksimum elek yükü (g)
No. 200	74µm					
Geçen No. 200 (74µm)						

Sonuçlar;

D₁₀		Üniformluluk katsayısı (C_u)	
D₃₀		Derecelenme Katsayısı (C_r)	
D₆₀		Zemin Sınıflandırma	

Dane Dağılımı - Granülometri



KİL	SİLT	KUM	ÇAKIL	TAŞ
-----	------	-----	-------	-----

Not: Sınır değerler ASTM ye göre verilmiştir.

ZEMİN MEKANİĞİ

Hidrometre ile Tane Boyu Dağılımı

1. Amacı

- ✓ Tane boyu dağılımını ince taneli zeminler ($<75\mu\text{m}$) için belirlemek. Numune içerisindeki kil oranının tespit edilmesi

2. Malzemeler

- ✓ Yüksek hızlı karıştırıcı
- ✓ Hidrometre
- ✓ Termometre
- ✓ % 4'lük sodyum hegzametafosfat ($(\text{NaPO}_3)_6$)
- ✓ Su banyosu
- ✓ Cetvel
- ✓ Beher
- ✓ Cam silindir
- ✓ Arıtılmış su

3. Genel kurallar

- ✓ Hidrometreyi fırında kurutmayın.
- ✓ Eğer zemin tuz ve çözünen madde içeriyorsa, bu durum deney sonuçlarını etkileyebilir.
- ✓ Tüm hidrometre okumaları menisküsün üstünden alınacak.
- ✓ Hidrometre okuması almak için, hidrometre süspansiyonun içine yavaş ve dikkatli bir şekilde batırılmalıdır. Okuma almadan önce hidrometrenin sabit olması gerekmektedir.
- ✓ Zeminle hazırlanmış süspansiyonun bir kaptan diğerine aktarılması işlemi sırasında geride hiçbir tane zemin tanesi bırakılmamalıdır.

4. Numune hazırlama

- ✓ #10, #40 ve #200 nolu eleklerden bir tanesi seçilir. Seçilen elekten geçen zemin yüzdesi kaydedilir.
- ✓ Numunenin su muhtevası belirlenir.
- ✓ 40-60 gram arasında kuru zemin alınır. Üzerine 5 gr sodyum hegzametafosfat ilave edilir.
- ✓ Bu karışıma bir çay bardağı su ilave edilerek karıştırılır.
- ✓ Hazırlanan süspansiyon ağzı kapalı bir şekilde bir gün bekletilir.
- ✓ Süspansiyon yüksek hızlı karıştırıcı ile 5-10 dakika arasında karıştırılır.

5. Kalibrasyon

5.1 Menisküs düzeltmesi (C_m)

Mezürde süspansiyon yoğun ve saydam olmadığından hidrometre okumaları ince hidrometre kolu üzerinde oluşan menisküs üzerinden yapılır. Hidrometrenin menisküs üstünde okunmasından dolayı yapılan hata, hidrometre saf su içerisine konulduğunda menisküsün alt ve üstünden bakılarak bulunan değerlerin farkı kadardır. Bulunan bu C_m değeri hidrometre okumasına eklenmek suretiyle menisküs düzeltmesi yapılır.

5.2 Sıcaklık düzeltmesi (M_t)

Hidrometreler belirli sıcaklıkta, hacim merkezinde yoğunluğu ölçecek şekilde imal edilirler. Bu sıcaklık genelde 20°C 'dir. Deney sıcaklığı bu sıcaklıktan sapma gösterdiğinde düzeltme yapılması gerekir. Hidrometre okumasına, deney ortamının sıcaklığına göre daha önce hazırlanmış olan çizelgelerden alınan sıcaklık düzeltmesi eklenir veya çıkarılır. Deney sıcaklığı 20°C 'in altındaysa çizelgeden alınacak sıcaklık düzeltmesi değeri M_t , hidrometre okumasından çıkarılır. Eğer 20°C 'in üstündeyse M_t değeri eklenir.

5.3 Dispersiyon (ayırıcı madde) düzeltmesi (R_d)

Süspansiyon içerisine topaklanmayı önlemek için eklenen dispersiyon madde, süspansiyonun yoğunluğunu artırır. Bundan dolayı dispersiyon madde için belirlenen değer, hidrometre okumasından çıkarılarak düzeltme gerçekleştirilir. Bu işlem basit olarak; toplam 1000 cm^3 olacak şekilde cam silindirin birisine dispersiyon madde+su, diğerine sadece su konularak yoğunluklar belirlenir. İki silindir içerisindeki sıvıların yoğunluk farkı (R_d) ayırıcı madde düzeltme farkını verir.

6. Deney

- Karıştırma işlemi tamamlandıktan sonra süspansiyon cam silindire boşaltılır.
- Süspansiyonun hacmi 1L ulaşıncaya kadar üzerine saf su ilave edilir.
- Daha sonra silindirin ağzına elin içi kapatılarak, 1 dakika süre ile çalkalanıp tam süspansiyon haline getirilir.
- Bu işlemden hemen sonra; hidrometre, süspansiyon silindiri içerisine daldırılarak ilk iki dakika içerisinde 3 okuma alınır. Bu şekilde okumalar; 4, 8, 15, 30, 60, 120 ve 240. dakikalar ile 8,16 ve 24. saatlerde yapılarak hidrometre okumaları alınarak kaydedilir. Bu ölçüm zamanları deney yapan kişiye göre ayarlanabilir.

- e) Hidrometre okumalarının yapıldığı zamanda süspansiyonun sıcaklığında ölçülmesi gerekmektedir. Böylece belirli zaman aralıklarında süspansiyon yoğunluk değişimleri ölçülüp, Stokes Yasası'na göre belli tane boylarında süspansiyonda kalan yüzde miktarları ve bu yüzde miktarlarına karşılık gelen tane çapları ile ilgili eşitlikler kullanılarak hesaplanır.

7. Hesaplamalar

- ✓ Sıcaklık düzeltmesi;

$$M_t = 0,001225t^3 - 0,069223t^2 + 1,510621t - 12,35923$$

M_t : Sıcaklık düzeltmesi

T: Sıcaklık

- ✓ Hidrometre okuması;

$$R_C = R_h + C_m \mp M_t - R_d$$

R_C : Düzeltilmiş hidrometre okuması

M_t : Sıcaklık düzeltmesi

R_h : Hidrometre okuması

R_d : Dispersiye madde düzeltmesi

C_m : Menisküs düzeltmesi

- ✓ Dane çapının belirlenmesi;

$$D = \sqrt{\frac{18\mu}{(\rho_s - \rho_w)g} \frac{Z_r}{t}}$$

μ : Viskozite (g/cm/s)

t: Zaman (sn)

ρ_w : Suyun yoğunluğu (g/cm³)

D: Çap (cm)

ρ_s : Tane yoğunluğu (g/cm³)

g: Yerçekimi ivmesi (980,7 cm/s²)

Z_r : Hidrometrenin hacim merkezi derinliği (cm)

- ✓ Tüm malzeme içerisindeki oran;

$$P' = (R * \alpha) / m_s$$

$$P = P' * N$$

P': Malzeme oranı

α : Özgül ağırlık düzeltme katsayısı

m_s : Deney malzemesi miktarı (g)

N: İnce tane oranı (%)

8. Sonuçlar

- ✓ Tane boyu dağılım eğrisi
✓ Numunenin içerisindeki kil yüzdesi

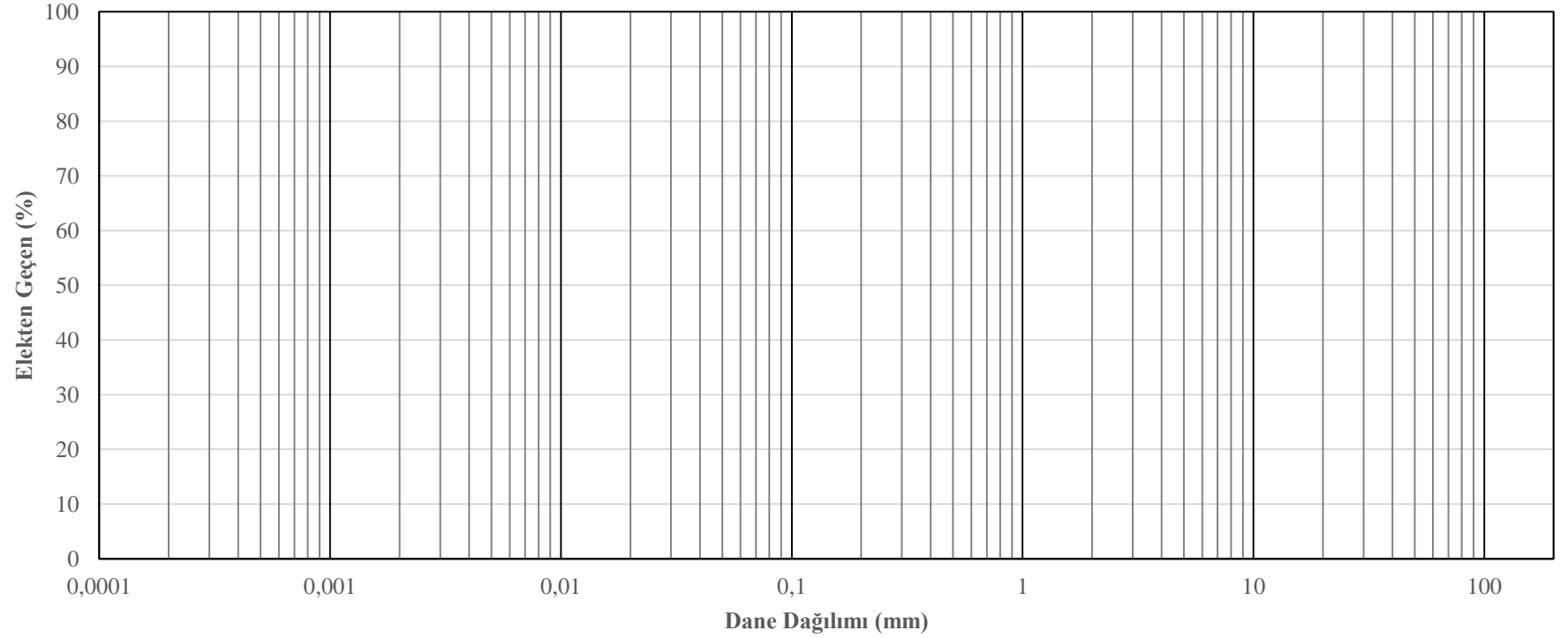
✓ Hidrometre deneyi

Hidrometre (152 H)				Toplam malzeme= İnce tane oranı N= Deney malzemesi miktarı m_s = Özgül ağırlık düzeltme katsayısı α = Özgül ağırlık G_s =				0,99			
Zra:16,3		16,3									
Zrb:0,164		0,164									
Zr: 16,3-0,164*R											
Cm		0,5									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
ZAMAN	SICAKLIK (°C)	HİDROMETRE OKUMASI	DİSPERSE MADDE DÜZELTMESİ	MENİSKÜS DÜZELTMESİ	SICAKLIK DÜZELTMESİ	DÜZELTİLMİŞ HİDROMETRE OKUMASI	MALZEME ORANI	TÜM MALZEME İÇERİSİNDEKİ ORAN (%)	HİDROMETRE HACİM MERKEZİ (CM)	VİSKOZİTE (g^*s/cm^2)	ÇAP (MM)
DAKİKA	t	Rh	Rd	R= Rh+Cm	Ct	Rc=Rh- Rd+Ct	$P'=(Rc*\alpha)/m_s$	$P=P'*N$	Zr	μ	D
0											
0,25											
0,5											
1											
2											
5											
10											
15											
30											
60											
24											
1440											

Sonuçlar;

D₁₀		Üniformluluk katsayısı (C_u)	
D₃₀		Derecelenme Katsayısı (C_r)	
D₆₀		Zemin Sınıflandırma	

Dane Dağılımı - Granülometri



KİL	SİLT	KUM	ÇAKIL	TAŞ
-----	------	-----	-------	-----

Not: Sınır değerler ASTM ye göre verilmiştir.

ZEMİN MEKANİĞİ-I

Kıvam Limitleri

1. Amacı

- ✓ İnce taneli zeminlerin likit limit ve plastik limit değerlerini bularak sınıflandırma

2. Malzemeler

Plastik Limit	Likit Limit
Cam plaka	Casagrande kabı
Çubuk (3.2 mm çapında)	Grooving tool
Karıştırma kabı	
Su muhtevası için kap	
Etüv	

3. Genel kurallar

- ✓ İnce taneli zeminler ve suyun elle karıştırılması sonucunda homojen bir karışım elde edilemez. Bu yüzden hazırlanan karışım homojen dağılım için bir süre nem odası veya desikatörde bekletilir.
- ✓ Hazırlanan karışımlarda su oranı düşürmek istediğimizde, karışıma kuru zemin ilave edilmez. Bunun yerine karışımın içindeki su kağıt havlu ile çekilebilir.

4. Numune hazırlama

- ✓ # 40 nolu elekten geçen numune su ile karıştırılır. Homojen bir karışım için bir süre nem odası veya desikatörde bekletilir.
- ✓ Belirli su muhtevalarına sahip birkaç adet karışım yukarıdaki gibi hazırlanır.

5. Kalibrasyon

5.1. Likit limit

- ✓ Likit limit kabının vurduğu yerin çapı 10 mm'den küçük olmalıdır.
- ✓ Likit limit kabının düşme yüksekliği 10 ± 2 mm olmalıdır.
- ✓ Likit limit kabının içindeki numunenin geometrisi, kabın içerisindeki suyun geometrisi ile aynı olmalıdır.

5.2. Plastik limit

- ✓ Referans çubuk ile numunenin çapını kontrol edilmelidir.

6. Deney

6.1. Casagrande kabı ile likit limit

- a) Casagrande kabının içerisine zemin su karışımı, kabın içerisindeki su geometrisine uygun bir şekilde yerleştirilir. Kabın içerisindeki karışımın içerisinde hava olmamalı ve yüzeyi düzgün bir şekilde düzeltilmelidir.
- b) Kabın içerisine yerleştirilen numunenin ortasından standart oyuk açma bıçağı ile bir yarık açılır.
- c) Aletin elle çalıştırılan bir türden olması halinde kolu saniyede 2 düşüş yapacak şekilde çevrilmeli ve düşüşler sayılmalıdır. Bu sırada numune pastasının ortasında açılmış olan yarığın tabanındaki kapanma dikkatle izlenmeli ve kapanmanın yaklaşık 10-13 mm olması durumunda çevirme işlemi durdurulmalıdır.
- d) Alet durdurulduktan sonra kuru ve temiz bir spatula kullanılarak 1 cm' lik kapanmanın olduğu bölgeden bir miktar numune, su muhtevasının tespit edilmesi için alınarak bir kaba koyulur.
- e) Kabın içerisindeki numune kurutulur. Su muhtevası tespit edilir.
- f) Deneyler en az dört kez tekrarlanarak, dört tane düşüş sayısı (N) ve bunlara karşılık gelen su içeriği (w) elde edilmelidir. N değerlerinden iki tanesi 25'den küçük iki tanesi de 25'den büyük olmalıdır.

6.2. Plastik limit

- a) Yaklaşık 50 gram zemin ile hamur kıvamında bir numune hazırlanır.
- b) Hazırlanan numune yuvarlatılarak silindir haline getirilir. Silindir haline getirilen numunenin çapı yuvarlama işlemi ile küçültülür.
- c) Küçültme işlemi 3.2 mm çapa gelinceye kadar devam eder. Bu noktada;
 - Eğer numune 3.2 mm çapa ulaşmadan yüzeyinde çatlaklar oluşuyorsa numunenin su muhtevası plastik limite göre yüksektir. Eğer numune 3.2 mm çaptan daha düşük çapta yüzeyinde çatlaklar oluşuyorsa numunenin su muhtevası plastik limite göre düşüktür. Her iki durumda da deney tekrar edilerek uygun su muhtevası bulunmalıdır.
 - Eğer numune 3.2 mm çapa ulaştığında yüzeyinde çatlaklar oluşmaya başlıyorsa deney tamamlanmıştır.
- d) Bu işlemden sonra en az 6 gram numune alınarak su muhtevası tespit edilir.

7. Hesaplamalar

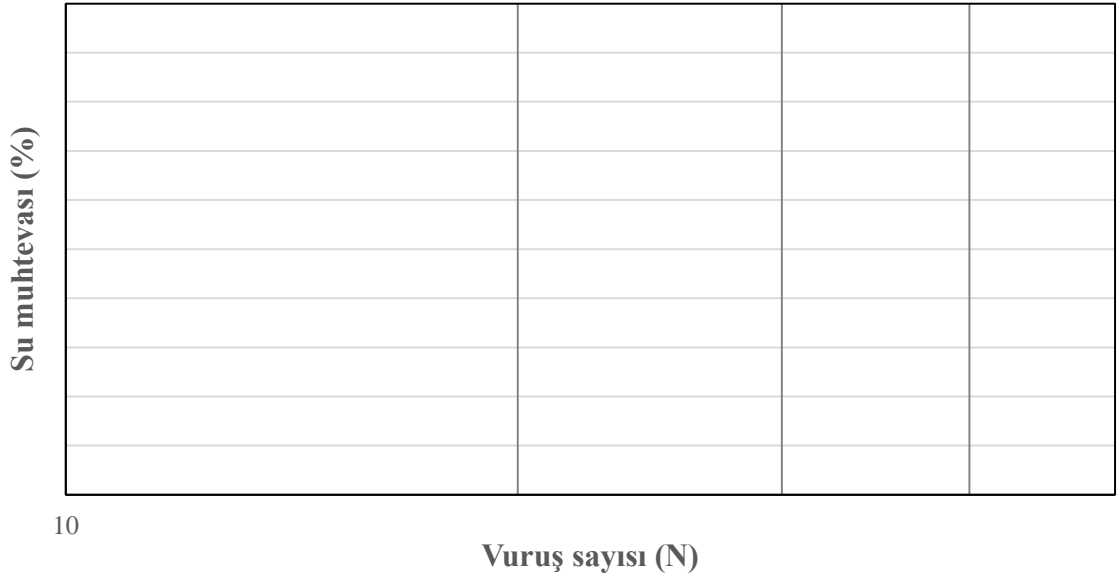
- ✓ Deneylemlerden elde edilen numunelerin su muhtevaları tespit edilir.
- ✓ Plastik limit deneyi sonucunda elde edilen su muhtevası plastik limit deęeridir.
- ✓ Likit limit deneyini bulmak için, deney sonunda elde edilen su muhtevaları ve düşüş sayıları ile grafik çizilir. Grafik üzerindeki noktalara uygun bir doğru çekilir. Çekilen doğru üzerindeki 25 düşüşe karşılık gelen su muhtevası numunenin likit limit değeridir.

8. Sonuçlar

- ✓ Plastik ve likit limit deęerleri
- ✓ Plastisite indeksi
- ✓ USCS göre zemin sınıflandırılması

Deney Numarası	Likit Limit					Plastik Limit	
	1	2	3	4	5	1	2
Düşüş sayısı							
Kap numarası							
Kap + Zemin kütlesi (g)							
Kap + Kuru zemin kütlesi (g)							
Kap Kütlesi (g)							
Su kütlesi (g)							
Kuru zemin kütlesi (g)							
Su muhtevası (%)							

Likit Limit&Vuruş Sayısı



10

Likit Limit (w_L, %)	
Plastik Limit (w_P, %)	
Plastisite İndisi (I_P, %)	

