



TÜRK STANDARDI
TURKISH STANDARD

TS 1900-1

Mart 2006

ICS 93.020

**İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİNDE ZEMİN LÂBORATUVAR
DENEYLERİ - BÖLÜM 1: FİZİKSEL ÖZELLİKLERİN TAYİNİ**

Methods of testing soils for civil engineering purposes in the
laboratory - Part 1: Determination of physical properties

TÜRK STANDARDLARI ENSTİTÜSÜ
Necatibey Caddesi No.112 Bakanlıklar/ANKARA

- Bugünkü teknik ve uygulamaya dayanılarak hazırlanmış olan bu standardın, zamanla ortaya çıkacak gelişme ve değişikliklere uydurulması mümkün olduğundan ilgililerin yayınları izlemelerini ve standardın uygulanmasında karşılaştıkları aksaklıkları Enstitümüze iletmelerini rica ederiz.
- Bu standardı oluşturan Hazırlık Grubu üyesi değerli uzmanların emeklerini; tasarılar üzerinde görüşlerini bildirmek suretiyle yardımcı olan bilim, kamu ve özel sektör kuruluşları ile kişilerin değerli katkılarını şükranla anarız.



Kalite Sistem Belgesi

İmalât ve hizmet sektörlerinde faaliyet gösteren kuruluşların sistemlerini TS EN ISO 9000 Kalite Standardlarına uygun olarak kurmaları durumunda TSE tarafından verilen belgedir.



Türk Standardlarına Uygunluk Markası (TSE Markası)

TSE Markası, üzerine veya ambalâjına konulduğu malların veya hizmetin ilgili Türk Standardına uygun olduğunu ve mamulle veya hizmetle ilgili bir problem ortaya çıktığında Türk Standardları Enstitüsü'nün garantisi altında olduğunu ifade eder.



Kalite Uygunluk Markası (TSEK Markası)

TSEK Markası, üzerine veya ambalâjına konulduğu malların veya hizmetin henüz Türk Standardı olmadığından ilgili milletlerarası veya diğer ülkelerin standardlarına veya Enstitü tarafından kabul edilen teknik özelliklere uygun olduğunu ve mamulle veya hizmetle ilgili bir problem ortaya çıktığında Türk Standardları Enstitüsü'nün garantisi altında olduğunu ifade eder.

DİKKAT!

TS işareti ve yanında yer alan sayı tek başına iken (TS 4600 gibi), mamulün Türk Standardına uygun üretildiğine dair üreticinin beyanını ifade eder. **Türk Standardları Enstitüsü tarafından herhangi bir garanti söz konusu değildir.**

Standardlar ve standardizasyon konusunda daha geniş bilgi Enstitümüzden sağlanabilir.

TÜRK STANDARDLARININ YAYIN HAKLARI SAKLIDIR.

Ön söz

- Bu standard, TS 1900 (1987)'ün revizyonu olarak TSE İnşaat İhtisas Grubu'nca hazırlanmış ve TSE Teknik Kurulu'nun 09 Mart 2006 tarihli toplantısında Türk Standardı olarak kabul edilerek yayımına karar verilmiştir.
- Genel ismi “İnşaat mühendisliğinde zemin lâboratuvar deneyleri“ olan bu standard, aşağıda belirtilen bölümlerden oluşmaktadır:
Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini
Bölüm 2: Mekanik özelliklerin tayini
- Bu standardda kullanılan bazı kelime ve/veya ifadeler patent haklarına konu olabilir. Böyle bir patent hakkının belirlenmesi durumunda TSE sorumlu tutulamaz.

İçindekiler

0	Giriş	1
1	Kapsam	1
2	Atıf yapılan standartlar	1
3	Terimler ve tarifleri	1
3.1	Zemin	1
3.2	Likit limit.....	1
3.3	Plâstik limit	1
3.4	Plâstisite indisi.....	1
3.5	Plâstik olmayan zemin	2
3.6	Dane çapı dağılımı	2
3.7	Taş (moloz)	2
3.8	Çakıl (G).....	2
3.9	Kum (S).....	2
3.10	Silt (M)	2
3.11	Kil (C).....	2
3.12	Kohezyonlu zemin	2
3.13	Kohezyonsuz zemin	2
3.14	Yarılama	2
3.15	Çeyrekleme.....	3
3.16	Sıkıştırma.....	3
3.17	Konsolidasyon	3
3.18	Doğal birim hacim ağırlık	3
3.19	Kuru birim hacim ağırlık.....	3
3.20	Su muhtevası.....	3
3.21	Değişmez kütle	4
3.22	Optimum su muhtevası.....	4
3.23	En büyük kuru birim hacim ağırlık	4
3.24	Sıkılık yüzdesi.....	4
3.25	Hava boşlukları yüzdesi.....	4
3.26	Sabit hava boşluğu eğrisi	4
3.27	Doygunluk eğrisi (sıfır hava boşluğu eğrisi)	4
3.28	Havada kurutulmuş zemin	4
3.29	Eşdeğer dane çapı	5
4	Özellikler	5
4.1	Cihazlar	5
4.2	Zeminlerin deney amaçları için gruplandırılması	6
4.3	Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması.....	6
4.4	Birimler	10
4.5	Rapor hazırlanması.....	10
4.6	Deneyde kullanılan suyun özellikleri	10
4.7	Zeminlerin sınıflandırılması	10
5	Deneyler	10
5.1	Zemin sınıflandırma deneyleri.....	10
5.1.1	Deney 1: Su muhtevasının tayini	10
5.1.2	Deney 2: Likit limitin tayini.....	14
5.1.3	Deney 3: Plâstik limitin tayini ve plâstisite indisinin bulunması.....	24
5.1.4	Deney 4: Büzülme limitinin tayini	26
5.1.5	Deney 5: Zemin danelerinin bağıl yoğunluğunun (özgül ağırlık) tayini	31
5.1.6	Deney 6: Dane çapı dağılımının bulunması.....	37
5.2	Zemin sıkıştırma deneyleri.....	60
5.2.1	Deney 7: Zeminde kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası bağıntısının 2,5 kilogramlık tokmakla elde edilmesi (standart enerji).....	60
5.2.2	Deney 8: Zeminde kuru birim hacim ağırlık - su muhtevasının 4,5 kilogramlık tokmakla elde edilmesi (yüksek enerji).....	66
5.2.3	Deney 9: İri daneli zeminde kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası bağıntısının titreşimli tokmak ile bulunması	70

5.3	Zeminin kuru birim hacim ağırlığının yerinde tayini.....	75
5.3.1	Deney 10: Zemin yerine kum doldurma metodu (ince ve orta daneli zeminler için küçük boşaltma silindiri metodu)	75
5.3.2	Deney 11: Zemin yerine kum doldurma metodu (ince, orta ve iri daneli zeminler için büyük boşaltma silindiri metodu)	82
5.3.3	Deney 12: Numune alıcı metodu (taşsız, killi veya tebeşirli zeminler için)	87
5.3.4	Deney 13: Balon metodu	88
Yararlanılan kaynaklar.....		92
Ek A Suyun yoğunluğu ve viskozitesi		93

İnşaat mühendisliğinde zemin lâboratuvar deneyleri - Bölüm 1: Fiziksel özelliklerin tayini

0 Giriş

Bu standard, inşaat mühendisliği ile ilgili zemin lâboratuvar deneylerinde, fiziksel özelliklerin tayin metotlarına dairdir.

1 Kapsam

Bu standard, inşaat mühendisliği ile ilgili, lâboratuvarda yapılacak zemin deneylerinden, su muhtevasının tayini, likit ve plâstik limitlerin tayini, büzülme limitinin tayini, bağıl yoğunluğun (özgül ağırlık) tayini, dane çapı dağılımının tayini, sıkıştırma deneyleri ile zeminin kuru birim hacim ağırlığının yerinde tayini için uygulanacak metotları kapsar.

Lâboratuvar deneyleri kullanılarak zeminin mekanik özelliklerin tayini metotları TS 1900-2'de verilmiştir.

2 Atıf yapılan standardlar

Bu standardda diğer standard ve/veya dokümanlara atıf yapılmaktadır. Bu atıflar metin içerisinde uygun yerlerde belirtilmiş ve aşağıda liste hâlinde verilmiştir. * işaretli olanlar İngilizce metin olarak basılan Türk Standardlarıdır.

TS No	Türkçe Adı	İngilizce Adı
TS 706 EN 12620	Beton agregaları	Aggregates for concrete
TS 1227 ISO 3310-1	Deney elekleri - Teknik özellikler ve deneyler - Kısım 1: Tel örgülü deney elekleri	Test Sieves - Technical requirements and testing - Part 1: Test sieves of metal wire cloth
TS 1500	İnşaat Mühendisliğinde zeminlerin - sınıflandırılması	Classificaiton of so in for civil engineering purposes
TS 1900-2	İnşaat mühendisliğinde zemin lâboratuvar deneyleri - Bölüm 2: Mekanik özelliklerin tayini	Methods of testing soils for civil engineering purposes in the laboratory - Part 2: Determination of mechanical properties
TS 1901	İnşaat mühendisliğinde sondaj yolları ile örselenmiş ve örselenmemiş numune alma yöntemleri	Methods of and obtaning of disturbed and undisturbed samples for civil engineering purposes
TS EN ISO 3696	Su - Analitik lâboratuvarında kullanılan - Özellikler ve deney metotları	Water for analytical laboratory use – Specification and test methods
TS EN ISO/ IEC 17025	Deney ve kalibrasyon lâboratuvarlarının yeterliliği için genel şartlar	General requirements for the competence of testing and calibration laboratories

3 Terimler ve tarifleri

Bu standardın amacı bakımından aşağıda verilen terimler ve tarifleri uygulanır.

3.1 Zemin

Zemin, kayaların bozuşması, ayrışması ve dağılması sonucu oluşan, yer kürenin dış kısmını oluşturan, bünyesinde su ve hava bulunan, daneli malzeme.

3.2 Likit limit

Likit limit, zeminin likit limit deneyi ile ölçülen, plâstik durumdan akıcı duruma geçtiği andaki su muhtevası.

3.3 Plâstik limit

Plâstik limit, kurumakta olan bir zeminin plâstik limit deneyi ile ölçülen, plâstik özelliğini yitirerek yarı katı hale dönüştüğü andaki su muhtevası.

3.4 Plâstisite indisi

Plâstisite indisi, bir zeminin likit limiti ile plâstik limiti arasındaki sayısal fark.

3.5 Plâstik olmayan zemin

Plâstik olmayan zemin, plâstisite indisi sıfır olan veya üzerinde plâstik limit deneyi yapılamayan zemin.

3.6 Dane çapı dağılımı

Dane çapı dağılımı, belirli çaplardaki dane gruplarının, zeminin toplam kuru kütleline oranla yüzde olarak belirtilmesi.

3.7 Taş (moloz)

Çapı 200 mm ile 60 mm arasında değişen yuvarlak veya çok köşeli malzeme.

3.8 Çakıl (G)

Zeminin, çapı 60 mm ile 2 mm arasında olan danelerden oluşan bölüm.

3.8.1 İri çakıl

Zeminin, çapı 60 mm ile 20 mm arasında olan danelerden oluşan bölümü.

3.8.2 İnce çakıl

Zeminin, çapı 20 mm ile 2 mm arasında olan danelerden oluşan bölümü.

3.9 Kum (S)

Zeminin, çapı 2 mm ile 75 µm arasında olan danelerden oluşan bölümü.

3.9.1 İri kum

Zeminin, çapı 2 mm ile 0,6 mm arasında olan danelerden oluşan bölümü.

3.9.2 Orta kum

Zeminin, çapı 0,6 mm ile 0,2 mm arasında olan danelerden oluşan bölümü.

3.9.3 İnce kum

Zeminin, çapı 0,2 mm ile 75 µm arasında olan danelerden oluşan bölümü.

3.10 Silt (M)

Zeminin, çapı 75 µm ile 2 µm arasında olan danelerden oluşan bölümü.

3.11 Kil (C)

Zeminin, çapı 2 µm'den küçük danelerden oluşan bölümü.

3.12 Kohezyonlu zemin

İçerdiği kil mineralleri etkisiyle, suyla yoğrulduğunda hamurumsu kıvam kazanabilen zemin türü.

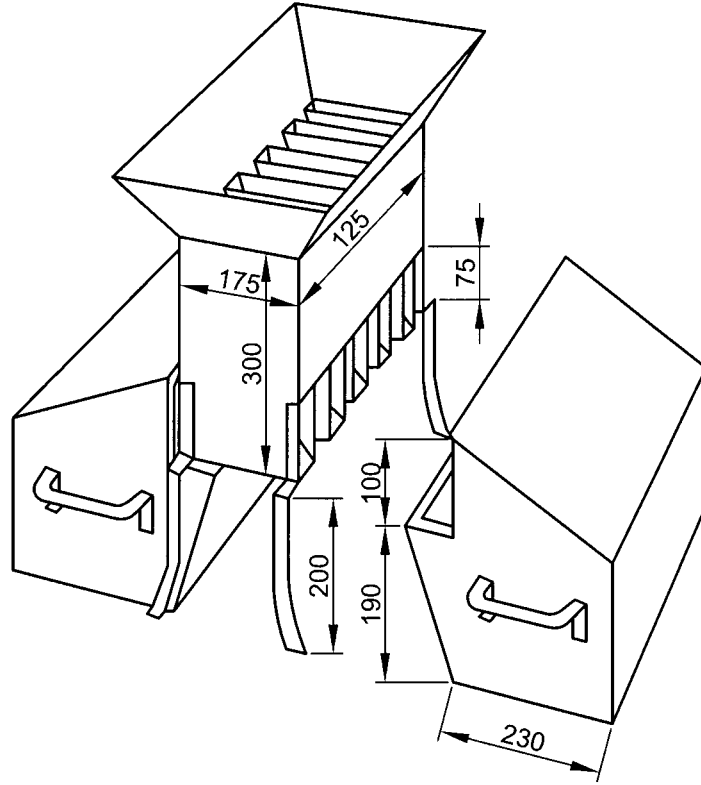
3.13 Kohezyonsuz zemin

Plâstik özellik göstermeyen veya çamur oluşturmeyen zemin türü

3.14 Yarılama

Miktarca çok olan bir numunenin uygun boyutlu bir numune ayırıcıdan (Şekil 1) geçirilerek yaklaşık olarak birbirine eşit iki kısma bölünmesi ve böylece numune miktarının azaltılması. Bu işlem, numune istenilen miktara getirilene kadar tekrarlanır.

Ölçüler mm'dir.

**Notlar**

- 1 - Gereki işlevleri yerine getirebilen başka bir cihaz da kullanılabilir,
- 2 - Ayırıcıdaki açıklık adedi çift ve açıklıklar birbirine eşit sayıda olmalıdır,
- 3 - İri zemin için en az 8 ve ince zemin için en az 12 açıklık olmalıdır,
- 4 - Açıklık sayısı her iki yönde de eşit olmalıdır,
- 5 - Açıklığın genişliği, en büyük dane çapından % 50 daha fazla olmalıdır.

Şekil 1 - Numune ayırıcının şeması**3.15 Çeyrekleme**

Miktarca çok olan bir numunenin, sistemli bir biçimde bölünerek istenilen miktara indirilmesi.

3.16 Sıkıştırma

Tokmak veya başka bir mekanik araçla zemine enerji uygulanarak danelerin birbirlerine yaklaştırılması, böylece zeminin kuru birim hacim ağırlığının artırılması.

3.17 Konsolidasyon

Zemine belirli bir süreyle uygulanan sürekli basınç artışı sonucu oluşan fazla boşluk suyu basıncının sönmesi, danelerin birbirine daha yakın duruma getirilmesi.

3.18 Doğal birim hacim ağırlık

Doğal halde bulunan zeminin boşluklarını da kapsayan birim hacmindeki katıların ve varsa suyun, toplam kütlesi.

3.19 Kuru birim hacim ağırlık

Yaş durumda birim hacim kaplayan zeminin (105 ± 5) °C'ta değişmez kütleye eriştikten sonraki kütlesi.

3.20 Su muhtevası

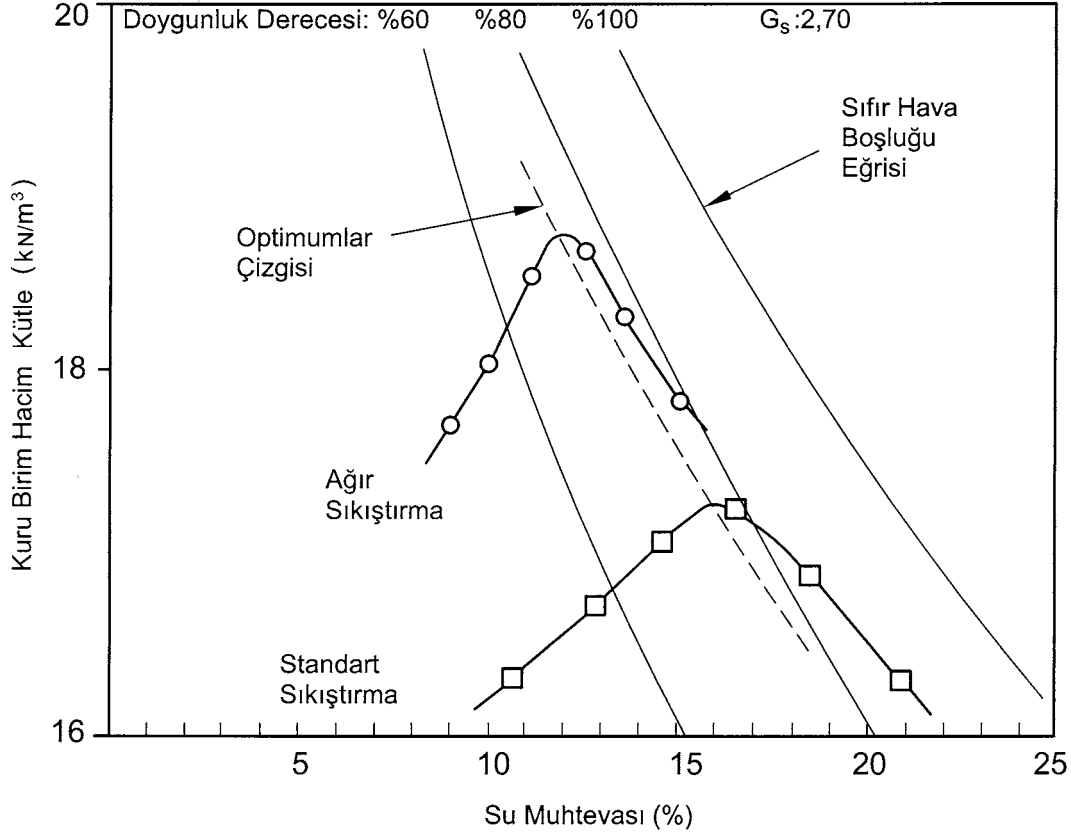
Kuru kütlenin yüzdesi olarak ifade edilen, zeminin (105 ± 5) °C sıcaklıktaki ortamda belirli bir süre tutulması sonucu bünyesinden verebildiği su miktarı.

3.21 Değişmez kütle

Etüvde kurutulmakta olan numunenin 4 saat aralıkla art arda yapılan iki tartım arasında % 0,1'den fazla fark göstermediği kütle.

3.22 Optimum su muhtevası

Belirli bir mekanik enerji uygulanarak sıkıştırılan zeminde, en büyük kuru birim hacim ağırlığını sağlayan su muhtevası (Şekil 2).



Şekil 2 - Standart ve ağır enerji (modifiye) sıkıştırma eğrilerine örnek

3.23 En büyük kuru birim hacim ağırlık

Optimum su muhtevasındaki bir zemine belirli bir sıkıştırma enerjisi uygulanarak elde edilen kuru birim hacim ağırlık.

3.24 Sıklık yüzdesi

Bir zeminin kuru birim hacim ağırlığının, zeminin standart lâboratuvar sıkıştırma deneyiyle bulunan en büyük kuru birim hacim ağırlığına oranı (yüzde olarak gösterilir).

3.25 Hava boşlukları yüzdesi

Zemin içerisindeki hava boşlukları hacminin, boşlukların toplam hacmine oranı (yüzde olarak gösterilir).

3.26 Sabit hava boşluğu eğrisi

Belirli bir hava boşluğu yüzdesi için zeminin kuru birim hacim ağırlık- su muhtevası bağıntısını gösteren eğri.

3.27 Doygunluk eğrisi (sıfır hava boşluğu eğrisi)

Sıkıştırılmış zeminde hiç hava boşluğu bulunmadığı durumdaki kuru birim hacim ağırlık- su muhtevası bağıntısını gösteren eğri (doygunluk eğrisi Şekil 2'de gösterilmiştir).

3.28 Havada kurutulmuş zemin

Tepsiler içerisine serilerek lâboratuvar ortamında uç veya dört gün süreyle bırakılmış zemin.

3.29 Eşdeğer dane çapı

Su içinde o dane ile aynı hızda çöken, bağıl yoğunluğu (özgül ağırlık) daneninkine eşit bir kürenin çapıdır.

4 Özellikler

4.1 Cihazlar

4.1.1 Deney elekleri

TS 1227 ISO 3310-1'e uygun deney elekleri kullanılır.

Bu standardda belirtilen elekler yerine, deney raporunda belirtilmek şartıyla, bir başka standardda verilen eşdeğer elekler de kullanılabilir.

Deney numunesi miktarı, deney sonunda eleklerde kalan numune miktarı, Çizelge 1'de verilen değerleri aşmayacak şekilde ayarlanmalıdır.

Çizelge 1 - Deney sonunda her elekte kalan numunenin aşılması gereken en büyük miktarı (çizelgede olmayan elek çapları için gerekli en çok miktarlar interpolasyonla bulunabilir)

Eleğin göz açıklığı (eşdeğeri)	Elekte kalan malzeme miktarı (en büyük)		Eleğin göz açıklığı (eşdeğeri)		Elekte kalan malzeme miktarı (en çok) 20 cm çaplı elekler için
	45 cm çaplı elekler için	30 cm çaplı elekler için			
mm	kg	kg	mm	mikron	g
50	10	4,5	2,5	-	200
40	8	3,5	1,6	-	100
31,5	6	2,5	1,25	-	100
25	6	2,5	-	800	75
20	4	2,0	-	630	75
12,5	3	1,5	-	400	75
10	2	1,0	-	315	50
6,3	1,5	0,75	-	200	50
5	1,0	0,50	-	160	40
4,75	1,0	0,40	-	80	25
3,15	-	0,30	-	75	20

4.1.2 Teraziler

Yaklaşık 500 g kapasiteli 0,001 g ve 0,01 g doğrulukla, 10 kg kapasiteli ve 0,1 g doğrulukla ve 25 kg kapasiteli ve 1 g doğrulukla tartabilen.

4.1.3 Palet bıçakları

TS 1900 standard serisi kapsamında yapılacak deneylerde kullanılacak palet bıçakları Çizelge 2'de verilmiştir.

Çizelge 2 - Palet bıçağının boyutları

Ağız kesimi boyutları	A (mm)	B (mm)
Uzunluk	100	200
Genişlik	20	30

4.1.4 Sapma

Deneylerde kullanılacak cihazların zorunlu boyutları ilgili şekillerde verilmiştir. Şekillerde aksi belirtilmedikçe, aşağıdaki sapma değerlerinin dışına çıkılmamalıdır.

300 mm'den büyük boyutlarda $\pm 0,8$ mm

300 mm ve daha küçük boyutlarda $\pm 0,4$ mm

4.2 Zeminlerin deney amaçları için gruplandırılması

Bu standarddaki deney amaçları için zeminler, aşağıdaki gibi gruplandırılır:

- 1 - **İnce daneli:** İçindeki danelerin kütlece en az % 90'ı 2 mm (veya eşdeğer) elekten geçen zeminler.
- 2 - **Orta daneli:** İçindeki danelerin kütlece en az % 90'ı 20 mm (veya eşdeğer) elekten geçen zeminler.
- 3 - **İri daneli:** İçindeki danelerin kütlece en az % 90'ı 40 mm (veya eşdeğeri) elekten geçen zeminler.

Yukarıdaki tarifler göz önünde tutularak yapılan bir gruplandırmada, herhangi bir zemin, özelliklerini sağladığı en ince daneli gruba sokulmalıdır.

Bu standarddaki deneylerden, elek analizi ve plâstisite deneyleri dışındakiler, 40 mm'lik elekte kütlece kalan oranı % 10 ve daha fazla olan zeminlere uygulanmaz. Bu tür zeminler için TS 706 EN 12620 standardı uygulanır.

4.3 Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması

4.3.1 Genel

Bu bölüm araziden TS 1901'e göre alınarak lâboratuvara getirilen zemin numunelerinin hazırlanması ve daha sonraki deneyler için bölümlere ayrılması işlemini kapsar.

4.3.2 Cihazlar

Terazi, 0,1 g doğrulukla tartma yapabilen,

Havan, zemindeki toprakları, dane boyutlarında küçülme meydana getirmeksizin ufalayan,

Havaneli, lâstik kaplı, Şekil 3'te gösterilen,

Deney elekleri, göz açıklıkları 425 µm, 2 mm, 4,75 mm, 9,5 mm, 20 mm, 40 mm olan,

Etüv, 45 °C ile 110 °C arasında istenilen sıcaklıkta sabit tutabilen,

Numune bölücü, Şekil 1'de gösterildiği gibi olan.

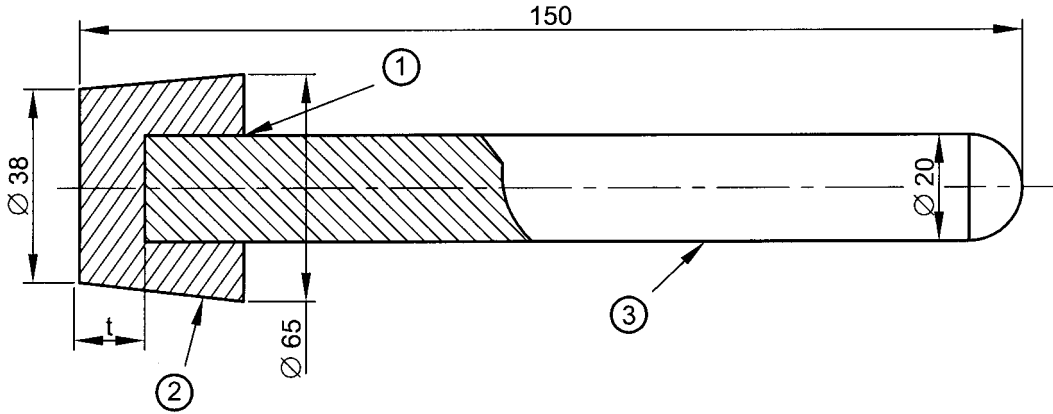
4.3.3 Deneyler için numunenin ön hazırlığı

4.3.3.1 Numune, TS 1901'e göre alındıktan sonra zeminin ince daneli, orta daneli ve iri daneli gruptan hangisine girdiğine karar verilmesi gerekir (Madde 4.2). Zeminin hangi gruba dâhil olduğu genellikle önceden bilinir veya kolayca anlaşılabilir. Ancak, tereddüt duyulan durumlarda, numunenin bir parçası, bu standardın 6 (A) veya 6 (B) numaralı deneylerinde verilen metotlar uygulanarak uygun bir elek veya elek takımından elenmelidir. Bu amaçla kullanılacak numune miktarı Çizelge 3'te verilmiştir.

Çizelge 3 - Zeminin gruplandırılması için elenecek malzeme miktarı

Malzemenin % 10'dan çoğunu oluşturan bölümün en büyük dane çapı	Eleme için alınacak malzemenin gerekli en az kütlesi (kg)
20 mm'den büyük	15
20 mm	2
4,75 mm'den küçük	0,1

Ölçüler mm'dir.

**Açıklamalar**

- 1 Yapıştırıcı madde
 2 Kauçuk
 3 Ahşap sap
 $t > 13$ mm

Not - Şekilde gösterilen cihaz yeterlidir, mecburî işlevlerini yerine getirebilen başka bir cihaz da kullanılabilir

Şekil 3 - Lâstik kaplı havan eli

4.3.3.2 Deneylede kullanılacak olan numunenin toplam kütlesi, zemin grubuna ve yapılacak deneylere bağlıdır. Bununla birlikte, zeminin özelliklerini doğru yansıtabilen bir numunenin toplam kütlesi, genellikle aşağıda verilenlerden az olmamalıdır:

İnce daneli zeminler	0,5 kg
Orta daneli zeminler	5 kg
İri daneli zeminler	30 kg

Deneyleler için gerekli numune miktarı, Çizelge 4'te verilen kütleler, yapılacak deneylerin sayısı ile çarpılarak elde edilir. Bu kütlelerde gereken yerlerde taşların çıkarılması sonucu doğacak eksilmeyi karşılayacak bir pay bulunmaktadır. Bu şekilde elde edilen numune kütlesi, ilgili zemin grubu için yukarıda verilen en küçük miktarın altında kalıyorsa, deney için bu en küçük miktar alınmalıdır.

4.3.3.3 Çeyrekleme için numune konik biçimde yığılır. Düşey iki çap boyunca dört eşit parçaya bölünür. Karşılıklı iki bölüm ayrılır. Kalan iki çeyrek bölüm karıştırılarak bir yarım elde edilir. İşleme, numune istenilen miktara ulaştırılıncaya kadar devam edilir.

4.3.3.4 Su muhtevası deneyi için alınan numuneler, kurumayı önlemek amacıyla, alındıktan hemen sonra kapaklı kaplarda tutulmalı ve kapaklar buharlaşmayı önleyecek biçimde geçirimsiz hâle getirilmiş olmalıdır.

4.3.3.5 Numune (veya Madde 4.3.3.3 veya Madde 4.3.3.4'teki işlemler yapılmışsa, numunenin geri kalanı) gerekirse açıkta veya etüvde kurutularak ufalanabilecek duruma getirilir. Bu işlem, 50 °C'u aşmayan bir sıcaklıkta yapılmalıdır. Daha sonra yapılacak deney sonuçlarına bir etkisi olmayacağı kesinlikle biliniyorsa, zemin (105 ± 5) °C sıcaklıklı etüvde de kurutulabilir (Madde 4.3.6 Not 2).

Çizelge 4 - Deneyler için gerekli en az numune miktarı

	Deney	Zemin gruplarına göre numune miktarı		
		İnce daneli	Orta daneli	İri daneli
Su muhtevası	Deney 1	50 g	350 g	4 kg
Likit limit	Deney 2 (A)	500 g	1 kg	2 kg
Likit limit	Deney 2 (B)	500 g	1 kg	2 kg
Likit limit	Deney 2 (C)	500 g	1 kg	2 kg
Plâstik limit	Deney 3	50 g	100 g	200 g
Hacimsel büzülme	Deney 4	500 g	800 g	1,5 kg
Bağıl yoğunluk	Deney 5 (A)	100 g	100 g	100 g
Bağıl yoğunluk	Deney 5 (B)	600 g	600 g	600 g
Dane çapı dağılımı	Deney 6 (A)	150 g	2,5 kg	17 kg
Dane çapı dağılımı	Deney 6 (B)	150 g	2,5 kg	17 kg
Dane çapı dağılımı	Deney 6 (C)	250 g	250 g	250 g
Dane çapı dağılımı	Deney 6 (D)	100 g	100 g	100 g
Sıkıştırma deneyi	Deney 7 (Madde 4.3.6 Not 1)	25 kg (10 kg)	25 kg (10 kg)	25 kg (10 kg)
Sıkıştırma deneyi	Deney 8 (Madde 4.3.6 Not 1)	25 kg (10 kg)	25 kg (10 kg)	25 kg (10 kg)
Sıkıştırma deneyi	Deney 9 (Madde 4.3.6 Not 1)	80 kg (10 kg)	80 kg (50 kg)	80 kg (50 kg)

4.3.4 Sınıflandırma deneyleri için numune hazırlanması**4.3.4.1 Numunenin ufalanması**

Madde 4.3.3.5'deki metotla elde edilen numunenin içindeki topaklar, dane boyutları değiştirilmeden ufalanır. Bu işlem sırasında, zemin danelerinin parçalanmamasına özenildiği kadar, topakların, numune 4,75 mm'lik elekten geçirildiğinde elekte sadece tek tek daneler kalacak biçimde, iyice ufalanmasına da özen gösterilmelidir.

4.3.4.2 Deney numunesi elde edilmesi

Madde 4.3.4.1'deki metotla elde edilen malzemeden çeyrekleme metoduyla azaltılarak deneylerde kullanılacak miktarda numuneler elde edilir. Bu numunelerin miktarları, gereken yerlerde daha sonraki tekrarlar da göz önünde tutularak, her deney için aşağıda verilen en küçük miktarı sağlamak zorundadır.

4.3.4.2.1 Deney 1: Su muhtevasının tayini

İnce daneli zeminler için	30 g
Orta daneli zeminler için	300 g
İri daneli zeminler için	3000 g

4.3.4.2.2 Deney 2 (A), 2 (B), 2 (C), 3 ve 4: Likit limit, plâstik limit, plâstisite indisi ve büzülme değerlerinin tayini

Madde 4.3.4.1'deki metotla hazırlanan malzemeden, 425 µm elekten elendiğinde aşağıdaki miktarları elde etmeye yetecek miktarda alınmalıdır. Zeminin hemen hemen tamamının 425 µm elekten geçmesi durumunda, deneyler doğal su muhtevasında yapılır.

Deney 2 (A)	200 g
Deney 2 (B)	200 g
Deney 2 (C)	200 g
Deney 3	20 g
Deney 4	150 g

Ufalama işlemi sırasında zemin danelerinin parçalanmamasına, ancak bütün topakların, numune 425 µm'lik elekten geçirildiğinde elekte sadece tek tek daneler kalacak biçimde ufalanmasına özen gösterilmelidir (Madde 4.3.6 Not 3). Malzemenin 425 µm'lik elekten geçen yüzdesi kaydedilmelidir (Madde 4.3.6 Not 4).

4.3.4.2.3 Deney 5 (A): Bağıl yoğunluğun (özgül ağırlığın) tayini

Madde 4.3.4.1'deki metotla hazırlanan numuneden 350 g alınır ve gerekirse 4,75 mm'lik elekten geçecek biçimde öğütülür. Bu malzeme azaltılarak 200 g'lık bir numune elde edilir ve (105 ± 5) °C sıcaklıktaki etüvde kurutulur. Hidratasyon suyunu kaybedebilecek numunelerde zemin doğal durumda deneye tâbi tutulduktan sonra kurutma (80 ± 5) °C sıcaklıktaki etüvde yapılır.

4.3.4.2.4 Deney 5 (B): Bağlı yoğunluğun (özgül ağırlığın) tayini

Madde 4.3.4.1'deki metotla hazırlanan malzemeden 400 - 500 g'lık bir numune alınır ve 40 mm'den büyük daneler, bu boyutun altına düşene kadar kırılıp parçalanır. Hazırlanan numune (105 ± 5) °C sıcaklıktaki etüvde kurutulur.

4.3.4.2.5 Deney 6 (A) ve 6 (B): dane çapı dağılımının tayini

Madde 4.3.4.1'deki metotla hazırlanan malzemeden, kurutulduktan sonra Çizelge 5'teki en küçük kütleleri sağlayacak miktarda alınıp (105 ± 5) °C sıcaklıktaki etüvde kurutulur.

Çizelge 5 - Eleme için alınacak malzemenin en az miktarı (çizelgede olmayan elek çapları için gerekli miktarlar enterpolasyonla bulunabilir)

Malzemenin %10'dan çoğunu oluşturan bölümünün en büyük dane çapı (mm)	Eleme için alınacak malzemenin en küçük kütlesi (kg)
75	50
50	35
40	15
20	2
12,5	1
10	0,5
6,3 veya 4,75	0,4
(2,0 mm, 630 µm, 425 µm, veya 75 µm)	0,2

4.3.4.2.6 Deney 6 (C) ve 6 (D): dane çapı dağılımının tayini (sadece, % 10'undan çoğu 75 µm'lik elekten geçen zeminlere uygulanabilir)

Madde 4.3.4.1'de ki metotla hazırlanan malzemeden aşağıda verilen miktarlarda numune gereklidir:

Deney 6 (C)	100 g
Deney 6 (D)	100 g

4.3.5 Sıkıştırma ve dayanım deneyleri için numune hazırlanması**4.3.5.1 Deney 7 ve 8: Tokmakla yapılan sıkıştırma deneyleri**

Madde 4.3.3.3'teki metotla hazırlanan malzemeden, 4,75 mm, 9,5 mm veya 20 mm'lik (elek analizine göre seçilen) elekten elendiğinde, sıkıştırma sırasında daneleri parçalanmaya eğilimli olmayan zeminler için 4 kg, daneleri parçalanmaya eğilimli zeminler için ise yaklaşık 10 kg malzeme verebilecek miktarda numune alınır (Madde 4.3.6 Not 1). Bu numune 20 mm'lik elekten elendikten sonra, elekte kalan numuneden ayrılıp atılan iri malzemenin yüzdesi kaydedilir. Zeminin içindeki topraklar, numune 4,75 mm elekten geçirildiğinde elekte sadece tek tek daneler kalacak biçimde ufalanmalıdır.

4.3.5.2 Deney 9: Titreşimli tokmakla yapılan sıkıştırma deneyi

Madde 4.3.3.3'teki metotla hazırlanan malzemeden 40 mm'lik elekten elendiğinde, sıkıştırma sırasında daneleri parçalanmaya eğilimli olmayan zeminler için 30 kg, daneleri parçalanmaya eğilimli olan zeminler için ise yaklaşık 50 kg malzeme verebilecek miktarda numune alınır (Madde 4.3.6 Not 1). Bu numune 40 mm'lik elekten elendikten sonra elekte kalan ve numuneden ayrılıp atılan iri malzemenin yüzdesi kaydedilir. Zemin içindeki topraklar, numune 4,75 mm'lik elekten geçirildiğinde elekte sadece tek tek daneler kalacak biçimde ufalanmalıdır.

4.3.6 Notlar

Not 1 - Zemin, kireçtaşı, kumtaşı türünden, tokmağın veya titreşimli tokmağın darbeleriyle çapı küçülecek cinsten yumuşak yapıları daneleri içeriyorsa, o numunenin daneleri sıkıştırma sırasında parçalanmaya eğilimli olarak nitelendirilmeli ve parantez içindeki kütleler kullanılmalıdır.

Not 2 - (105 ± 5) °C sıcaklıkları etüvde kurutulmuş bazı zeminlerin özellikleri yeniden kazanılamayacak biçimde değiştiğinden, deneyler için hazırlanacak zemin numunelerinin açıkta kurutulması önerilmiştir. Bununla birlikte bu değişimin pratikteki etkisi pek çok zemin için önemsizdir. Kıvam limiti deneylerinde kullanılacak numunelerin 50 °C ve daha yüksek sıcaklıktaki bir etüvde kurutulmaması gerekir. Bazı yerinde oluşmuş (rezidüel) zeminler açıkta kurutulmaktan bile etkilendikleri için bunlar, deneye doğal su muhtevasında tâbi tutulmalıdır. Açıkta kurutulacak numuneler, laboratuvarında tepsilere serili durumda bırakılarak 3-4 günde kurutulabilir. İçinde iri daneler bulunmayan bazı kil ve siltler, belirli deneyler için açıkta kurutulmak yerine doğal su muhtevalarında deneye tâbi tutulabilirler.

Not 3 - Az miktarda kohezyonlu malzeme içeren daneli zeminlerde, gerekli numune miktarını elde etmek için malzemenin 425 µm'lik elekten yıkanarak elenmesi gerekebilir. Yıkayarak eleme işlemi uygulandığında, elekten geçen malzeme ve su bir kap içinde toplanıp bekletilmelidir. Üstteki su, oldukça berrak bir duruma geldiğinde, bulandırılmadan dökülmeli ve kabın dibinde kalan malzeme havada kurutulmalıdır.

Not 4 - 425 µm'lik elekten geçen yüzde tayini açıkta kurutulmuş zemin üzerinde yapıldığından, elde edilen değerler yaklaşık olduğunu unutmamak gerekir.

4.4 Birimler

Bu standard serisinde SI birimleri kullanılmaktadır. Kullanılan birimler yerine, çevirme katsayıları kullanılarak, diğer birimler de kullanılabilir.

4.5 Rapor hazırlanması

Bu standardda, deney esnasında ve rapor yazımında kullanılacak çeşitli formlar önerilmiştir. Formlar, gerekli bilgilerin bulunması şartıyla verilenlerden farklı biçimlerde tanzim edilebilir. Deney raporu, formlarda istenilen bilgilere ilâveten TS EN ISO/IEC 17025'te verilen bilgileri de ihtiva edecek şekilde düzenlenebilir.

4.6 Deneyde kullanılan suyun özellikleri

Deneyler için TS EN ISO 3696 Sınıf 3 su kullanılmalıdır. Ancak, Sınıf 3 suyun özelliklerinden sadece bir tanesinin sağlanması yeterlidir.

4.7 Zeminlerin sınıflandırılması

Standardın bu bölümünde belirtilen deney sonuçlarına göre zemin sınıflaması TS 1500'e göre yapılmalıdır.

5 Deneyler

5.1 Zemin sınıflandırma deneyleri

5.1.1 Deney 1: Su muhtevasının tayini

5.1.1.1 Deney 1 (A): Etüvde kurutma metodu

5.1.1.1.1 Genel

Bu deney, zemindeki su miktarının tayin edilmesi ve bunun zeminin kuru kütlelerinin yüzdesi olarak gösterilmesini kapsar.

5.1.1.1.2 Cihazlar

Etüv, sürekli olarak (105 ± 5) °C sıcaklık sağlayabilen.

Ayrıca zemin türüne göre aşağıdaki cihazlar gereklidir:

5.1.1.1.2.1 İnce daneli zeminler için

Kap, hava geçirmez, yaklaşık 50 mm çapında ve 25 mm yüksekliğinde cam veya paslanmaz metal bir kutu,
Terazi, 0,01 g doğrulukla tartma yapabilen,
Desikatör, içerisinde bir miktar nem çekici madde (susuz silika jeli) bulunan.

5.1.1.1.2.2 Orta daneli zeminler için

Kap, paslanmaz, hava geçirmez,
Terazi, 0,1 g doğrulukla tartma yapabilen,
Bakkal küreği

5.1.1.1.2.3 İri daneli zeminler için

Kap, paslanmaz,
Terazi, 1 g doğrulukla tartma yapabilen,
Bakkal küreği

5.1.1.1.3 Deneyin yapılışı

5.1.1.1.3.1 İnce daneli zeminler için

5.1.1.1.3.1.1 Temizlenip kurutulmuş kap ve kapağı 0,01 g doğrulukla tartılır (M_1). En az 30 g zemin numunesi ufalanır, kabın içine gevşek olarak doldurulur ve kapak kapatılır. Kap, içindeki numuneler ile birlikte tartılır (M_2).

5.1.1.1.3.1.2 Kapağı açılan kap, kapağı ve içindeki numune ile birlikte etüve konarak (105 ± 5) °C'ta kurutulur (Madde 5.1.1.1.6 Not 1). Gerekli kurutma süresi zeminin türüne ve numune miktarına bağlı olarak değişir. 4 saat ara ile Madde 5.1.1.1.3.1.3 ve Madde 5.1.1.1.3.1.4'te belirtilen metotla elde edilen oda sıcaklığına kadar soğutulmuş numune kütleindeki değişim, numunenin başlangıç kütleinin % 0,1'ini aşmıyorsa, numune değişmez kütleyle erişmiş sayılır (Madde 5.1.1.1.6 Not 2). Numune etüvde bulunduğu sürece, kapak kapatılmamalıdır.

5.1.1.1.3.1.3 Numune kuruduktan sonra kap, içindeki numunelerle birlikte kapağı kapatılmadan oda sıcaklığına kadar soğumak üzere desikatöre konur veya kapağı kapatılarak uygun yerde soğumaya bırakılır.

5.1.1.1.3.1.4 Kapağı kapatılan kap, içindeki numunelerle birlikte 0,01 g doğrulukla tartılır (M_3).

5.1.1.1.3.2 Orta daneli zeminler için

5.1.1.1.3.2.1 Temizlenip kurutulmuş kap ve kapağı 0,1 g doğrulukla tartılır (M_1). En az 300 g zemin numunesi ufalanır, kabın içine gevşek olarak konur ve kapak kapatılır. Kap, içindeki numune ile birlikte yeniden 0,1 g doğrulukla tartılır (M_2).

5.1.1.1.3.2.2 Kapağı açılan kap, kapağı ve içindeki numuneler birlikte etüve konarak (105 ± 5) °C'ta kurutulur (Madde 5.1.1.1.6 Not 1). Gerekli kurutma süresi zeminin türüne ve numune miktarına bağlı olarak değişir (Madde 5.1.1.1.6 Not 2). Numune etüvde bulunduğu sürece, kapak kapatılmamalıdır.

5.1.1.1.3.2.3 Numune kuruduktan sonra kapak kapatılır ve numune oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakılır.

5.1.1.1.3.2.4 Kap, kapağı ve içindeki numunelerle birlikte 0,1 g doğrulukla tartılır (M_3).

5.1.1.1.3.3 İri daneli zeminler için

5.1.1.1.3.3.1 Temizlenip kurutulmuş kap ve kapağı 1 g doğrulukla tartılır (M_1). En az 3 kg zemin numunesi ufalanır, kabın içine gevşek olarak konur. Kap, içindeki numunelerle birlikte yeniden 1 g doğrulukla tartılır (M_2).

5.1.1.1.3.3.2 Kap içindeki numunelerle birlikte etüve konarak (105 ± 5) °C'ta kurutulur (Madde 5.1.1.1.6 Not 1). Gerekli kurutma süresi, zeminin türüne ve numune miktarına bağlı olarak değişir (Madde 5.1.1.1.6 Not 2).

5.1.1.1.3.3.3 Numune kuruduktan sonra, numune oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakılır.

5.1.1.1.3.3.4 Kap, içindeki numuneyle birlikte 1 g doğrulukla tartılır (M_3).

5.1.1.1.4 Hesaplama

Zeminin su muhtevası (w) kuru zemin kütleinin yüzdesi olarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$w = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} * 100$$

Burada;

M_1 Kabın kütlesi (g),

M_2 Kap + yaş numune kütlesi (g),

M_3 Kap + kuru numune kütlesi (g)

dir.

5.1.1.1.5 Sonuçların gösterilmesi

Su muhtevası (w) değerleri % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir (Madde 5.1.1.1.6 Not 1). Sonuçların elde edilmesinde kullanılan metot belirtilmelidir.

5.1.1.1.6 Notlar

Not 1 - Bazı zeminler, ısıtıldığında kristal suyunu kaybeden jips içerirler. Bu deneyde verilen metotla ölçülen su muhtevası değerleri, her % 1 jips miktarı başına yaklaşık olarak % 0,2 miktarında eklenmiş olur. Zemin içinde jips bulunduğundan kuşulanılıyorsa, numune, 80 °C'ü aşmayan bir sıcaklıkta ve gerekirse daha uzun bir süre etüvde tutulmalı, bu durum raporda belirtilmelidir.

Not 2 - Pek çok zemin için 24 saatlik kurutma süresi uygun ve yeterlidir. Ancak, belirli tip zeminler ve çok ıslak veya miktarca çok olan numuneler, daha uzun sürede kururlar. Kuruma süresi ayrıca, etüvde bulunan toplam malzeme miktarına da bağlıdır.

Not 3 - Desikatör içerisine konulacak nem çekici maddenin (susuz silika jeli) renkli olması tavsiye edilir çünkü kullanım süresi dolan bu madde, renk değişikliğine uğradığından, değiştirimle zamanı kolayca anlaşılabilir.

Not 4 - Su muhtevasının tayininde Çizelge 6'da verilen form kullanılabilir.

Çizelge 6 - Su muhtevası deneyi formu

Lâboratuvar no		Örselenmiş ise, elek no	
Numuneyi gönderen		Numune kabul tarihi	
Ait olduğu proje		Deney başlangıç tarihi	
Kuyu / sondaj no		Deney bitiş tarihi	
Numune no		Deneyi yapan	
Numune tipi		Kontrol Eden	
		Deney metodu	Etüv/Mikrodalga

Numune no							
Kap no							
Yaş numune + kap kütlesi (M_2), g							
Kuru numune + kap kütlesi (M_3), g							
Kap kütlesi (M_1), g							
Kuru numune kütlesi ($M_K = M_3 - M_1$), g							
Su kütlesi ($M_W = M_2 - M_3$), g							
Su muhtevası ($w = 100M_W/M_K$), %							

5.1.1.2 Deney 1 (B): Mikrodalga fırınında kurutma metodu

5.1.1.2.1 Genel

Bu deney, ince ve orta daneli zemindeki su miktarının tayin edilmesi ve bunun zeminin kuru kütlelerinin yüzdesi olarak gösterilmesini kapsar.

5.1.1.2.2 Cihazlar

Mikrodalga fırın, en az 700 W gücünde ve güç ayarı yapılabilen, tercihan havaya açılan çıkışı bulunan, **Isıl yalıtımlı eldiven veya kışağ**, numuneyi tutma ve taşıma amaçlı, **Kuruyan numunede biriken ısıyı dengeleyecek bir cisim**, ıslak tuğla, ateş almayan tip yağla dolu cam beher gibi,

Numuneyi karıştırıp bölmek için spatül ve cam çubuk.

Ayrıca, zemin türüne göre aşağıdaki cihazlar gereklidir:

5.1.1.2.2.1 İnce daneli zeminler için

En büyük dane çapı 4,75 mm olan bu grupta numune kütlesi (100 - 200) g olmalıdır.

Kap, 5 cm çapında, 2,5 cm yüksekliğinde ısıya dayanıklı cam veya benzeri metalik olmayan, ısı şoka dayanıklı kapaklı kutular bu amaçla kullanılabilirler,

Terazi, 0,01 g doğrulukla tartma yapabilen,

Desikatör, içerisinde bir miktar susuz silika jel bulunan.

5.1.1.2.2.2 Orta daneli zeminler için

En büyük dane çapı 9,5 mm olan bu grupta numune kütlesi (300 - 500) g olmalıdır.

Kap, ısıya dayanıklı cam veya benzeri, metalik olmayan, ısı şoka dayanıklı, ısıtıldığında hacim değişimi göstermeyen en fazla 500 g kapasiteli kutular,

Terazi, 0,1 g doğrulukla tartma yapabilen,

Bakkal küreği.

5.1.1.2.3 Deneyin yapılışı**5.1.1.2.3.1 İnce daneli zeminler için**

5.1.1.2.3.1.1 Kullanılacak kap iyice temizlenir, kurutulur ve 0,01 g doğrulukla tartılır (M_1).

5.1.1.2.3.1.2 Numune el değdirmeden ufalanır, kabın içine gevşek olarak konur ve kapağı kapatılır. Kap, içindeki numuneler birlikte tartılır (M_2).

5.1.1.2.3.1.3 Kapağı açılan kap, kapağı ve içindeki numune ve ısı dengeleyici cisim ile birlikte mikrodalga fırına konarak yüksek güç ayarında 3 dakika süreyle kurutulur (Madde 5.1.1.2.6 Not 1). Gerekli kurutma süresi zeminin türüne ve numune miktarına bağlı olarak değişir. Bu süre lâboratuvar koşulları ve mikrodalga fırının özelliklerine göre değişeceğinden numunelerin aşırı ısıtılmasına meydan verilmeyecek şekilde ayarlanmalıdır.

5.1.1.2.3.1.4 Numune kuruduktan sonra kap, içindeki numunelerle birlikte kapağı kapatılmadan oda sıcaklığına kadar soğumak üzere desikatöre konur veya kapağı kapatılarak, soğumaya bırakılır.

5.1.1.2.3.1.5 Soğuyan ve kapağı kapatılan kap, içindeki numunelerle birlikte 0,01 g doğrulukla tartılır (M_3).

5.1.1.2.3.2 Orta daneli zeminler için

5.1.1.2.3.2.1 Kap temizlenir, kurutulur ve 0,1 g doğrulukla tartılır (M_1). En az 300 g zemin numunesi ufalanır, kabın içine gevşek olarak konur ve kapak kapatılır. Kap, içindeki numunelerle birlikte 0,1 g doğrulukla tartılır (M_2).

5.1.1.2.3.2.2 Kapağı açılan kap, kapağı ve içindeki numune ve ısı dengeleyici cisim ile birlikte mikrodalga fırına konarak yüksek güç ayarında 3 dakika süreyle kurutulur (Madde 5.1.1.2.6 Not 1). Gerekli kurutma süresi zeminin türüne ve numune miktarına bağlı olarak değişir. Bu süre lâboratuvar koşulları ve mikrodalga fırının özelliklerine göre değişeceğinden numunelerin aşırı ısıtılmasına meydan verilmeyecek şekilde ayarlanmalıdır.

5.1.1.2.3.2.3 Numune kuruduktan sonra kapak kapatılır ve numune oda sıcaklığına kadar soğumaya bırakılır.

5.1.1.2.3.2.4 Kap, kapağı ve içindeki numunelerle birlikte 0,1 g doğrulukla tartılır (M_3).

5.1.1.2.4 Hesaplama

Zeminin su muhtevası (w) kuru zemin kütlelerinin yüzdesi olarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$w = \frac{M_2 - M_3}{M_3 - M_1} * 100$$

Burada;

M_1 Kap darası (g),

M_2 Kap + yaş numune kütlesi (g),

M_3 Kap + kuru numune kütlesi (g)

dir.

5.1.1.2.5 Sonuçların gösterilmesi

Su muhtevası (w) değerleri % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir (Madde 5.1.1.2.6 Not 1). Sonuçların elde edilmesinde mikrodalga metodunun kullanıldığı belirtilmelidir. Ayrıca numunenin birden fazla türde zeminden oluşması hâlinde, kurutma süresi ve kaç kez tekrarlandığı raporda verilmelidir.

5.1.1.2.6 Notlar

Not 1 - Bazı zeminler ısıtıldığında kristal suyunu kaybeden jips içerirler. Bu deneyde verilen metotla ölçülen su muhtevası değerleri, her % 1 jips miktarı başına yaklaşık olarak % 0,2 miktarında eklenmiş olur. Zemin içinde jips bulunduğundan kuşkulanıyorsa, numune, 80 °C'u aşmayan bir sıcaklıkta ve gerekirse daha uzun bir süre etüvde tutulmalı, bu durum raporda belirtilmelidir.

Not 2 - Pek çok zemin için 3 dakikalık kurutma süresi genellikle yeterli olmakla beraber belirli tip zeminler ve çok ıslak veya miktarca çok olan numuneler, daha uzun sürede kururlar. Kuruma süresi ayrıca, toplam malzeme miktarına da bağlıdır.

5.1.2 Deney 2: Likit limitin tayini

5.1.2.1 Deney 2(A): Koni düşürme (penetrasyon) ile likit limitin tayini (referans metot)

5.1.2.1.1 Genel

Bu yöntem, havada kurutulmuş zeminin likit limitinin tayini ile ilgili olup, doğal su muhtevasındaki zeminlere de uygulanabilir.

5.1.2.1.2 Cihazlar

Elek ve tavaşı, 425 µm göz açıklıklı elek,

Cam plâka, kalınlığı en az 9 mm, 450 mm x 450 mm boyutlarında olan,

Palet bıçağı, iki adet B tipi,

Penetrometre, Şekil 4'te verilen tip uygundur

Koni, paslanmaz çelik veya duralümininden, yüksekliği 35 mm, yüzeyi cilalı, tepe açısı (30 + 1)° olan (koninin üst şaft ve mikrometre ile kütlesi 80,00 g ± 0,05 g olacak ve sivri uç aşındığında yenisi takılacaktır), (Madde 5.1.2.1.6 Not 1).

Metal kap, düz tabanlı 55 mm çaplı ve 40 mm derinlikte olan,

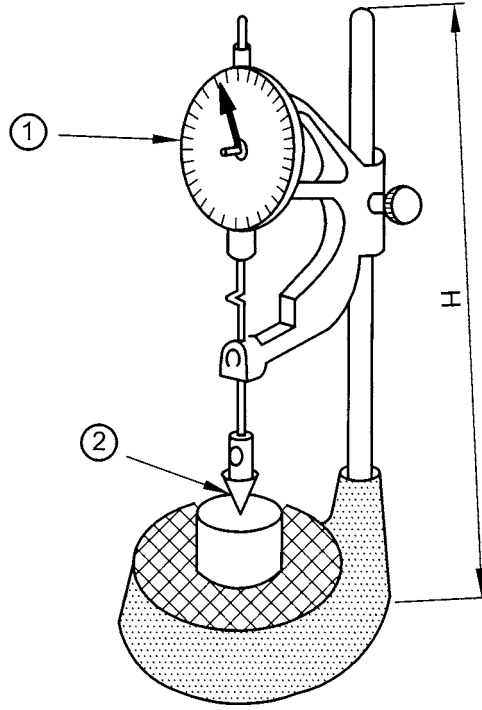
Porselen pota, 150 mm çaplı olan,

Yıkama şişesi, damıtık suyla dolu olan,

Desikatör

Çelik cetvel

Ayrıca, su muhtevası tayini için Deney 1'de belirtilen cihazlar.



Açıklamalar

- 1 Mikrometre
 2 Koni (30 ± 1)°
 $H \cong 550$ mm
 Zemin numunesinin çapı 55 mm yüksekliği 40 mm olmalıdır

Şekil 4 - Likit limit tayininde kullanılan koni düşürme cihazı

5.1.2.1.3 Deneyin yapılışı

5.1.2.1.3.1 Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna (Madde 4.3) uygun olarak $425 \mu\text{m}$ 'lik elekten geçirilen 200 g kadar numune alınır ve $425 \mu\text{m}$ 'lik elekten geçen kısım yüzdesi kaydedilir. Numune cam plâkanın üstüne veya porselen potaya konur; damıtık su katılarak, homojen bir hamur durumuna gelene kadar, palet bıçağıyla iyice karıştırılır. Sonra bu karışım, suyun, numunenin her yanına yayılmasını sağlamak amacıyla, hava geçirmez bir kap içerisinde 24 saat süreyle desikatörde oda sıcaklığında bekletilir. Başlangıç su muhtevasının likit limitten düşük olması gerekir.

5.1.2.1.3.2 Numune ertesi gün desikatörden alınarak en az 10 dakika süre ile tekrar karıştırılır. Bazı ağır killerde yoğurma 40 dakikaya çıkabilir.

5.1.2.1.3.3 Hazırlanan numune metal deney kabına sıkıca yerleştirildikten sonra yüzeyi çelik cetvelle tesviye edilir ve penetrometre tabanına konulur.

5.1.2.1.3.4 Koni, zeminin yüzeyini belirsizce çizecek seviyeye indirilir ve komparatör saatinin sıfır okuması alınır. Sonra düğmeye 5 ± 1 saniye süre ile basılır. Süre sonunda son mikrometre okuması yapılır. İki okuma arasındaki fark koni penetrasyonudur.

5.1.2.1.3.5 Koni kaldırılıp dikkatle temizlenir. Kaba biraz daha çamur eklenerek yüzeyi yine düzleştikten sonra Madde 5.1.2.1.3.4'teki işlem tekrarlanır. Bu ikinci penetrasyon değerinin, ilk değerden farkı 0,5 mm ile 1 mm arasında çıkarsa, bir üçüncü deney yapılır. Değerlerdeki farklılık 1 mm dolayında kalırsa 10 g kadar bir su muhtevası numunesi koni deliği civarından alınır ve su muhtevası ölçülür. Bu su muhtevasına karşılık üç penetrasyon değerinin ortalaması kaydedilir. Fark 1 mm'den fazla ise numune kap dışına alınarak, tekrar karıştırıldıktan sonra deney bu su muhtevası için tekrarlanır.

5.1.2.1.3.6 Madde 5.1.2.1.3.3, Madde 5.1.2.1.3.4 ve Madde 5.1.2.1.3.5'te anlatılan işlemler numuneye su eklenerek en az üç kez ve değişik su muhtevalarında yapılır. Bu su muhtevaları penetrasyon değerlerinin 15 mm ile 25 mm arasında değişeceği biçimde ayarlanmalıdır. Kural olarak deney, kurudan ıslak karışıma doğru yürütülür ve koni ile deney kabı her denemeden sonra temizlenir.

5.1.2.1.4 Hesaplama

Su muhtevası ve koni penetrasyonu değerleri bir koordinat eksenine, her deneme için su muhtevası yüzde olarak yatay eksene, penetrasyon değeri de düşey eksene işaretlenir. Noktalardan geçirilecek en uygun doğrudan akış eğrisi elde edilir.

5.1.2.1.5 Sonuçların gösterilmesi

20 mm penetrasyona karşılık olan su muhtevası, zeminin likit limiti olarak tayin edilir ve % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir. Deneyde penetrometre kullanıldığı, 425 µm'lik elekten geçen malzeme yüzdesi, ayrıca zeminin rutubet durumu (doğal, havada kurutulmuş, bilinmiyor) kaydedilmelidir.

5.1.2.1.6 Notlar

Not 1 - Koni, $(1,75 \pm 0,10)$ mm plâkaya delinen $(1,50 \pm 0,05)$ mm çaplı deliğe takıldığında altta gezdirilen parmak ucuna değmiyorsa aşınmanın kabul edilemez dereceye ulaştığına karar verilir.

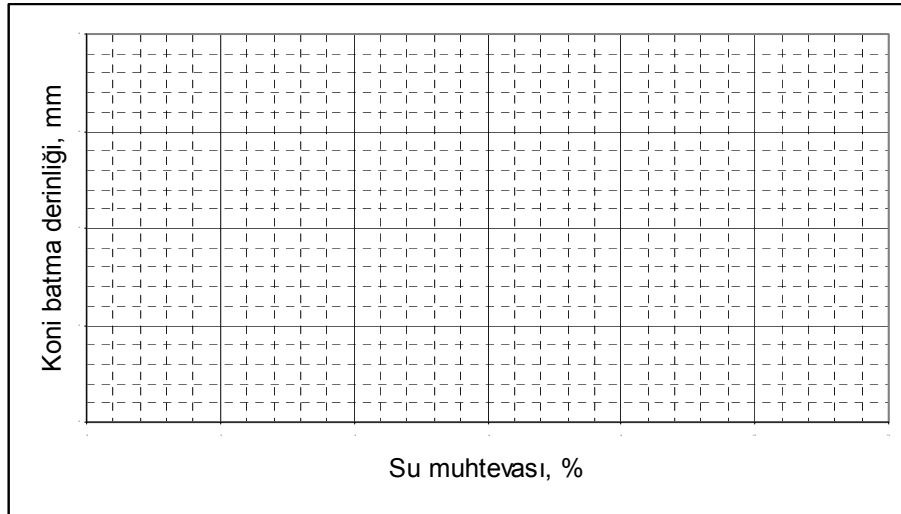
Not 2 - Zeminin hemen hemen tamamı 425 µm'lik elekten geçtiğinin görüldüğü durumlarda deney doğal su muhtevasında yapılabilir. Varsa iri daneler karıştırma sırasında elle ayıklanmalıdır. Bazı, yerinde oluşmuş zeminlerde likit limitin havada kurutulmuş değeri farklı çıktığında deney doğal su muhtevasında yapılmalıdır.

Not 3 - Koni düşürme deneyinde Çizelge 7'de verilen deney formu kullanılabilir.

Çizelge 7 - Koni düşürme deneyi formu

Lâboratuvar no		425 µm'lik elekte kalan numune yüzdesi, %	
Numuneyi gönderen		Numune kabul tarihi	
Ait olduğu proje		Deney başlangıç tarihi	
Kuyu / sondaj no		Deney bitiş tarihi	
Numune no		Deneyi yapan	
Numune tipi		Kontrol eden	
		Zemin su ile karıştırıldıktan sonra bekletilen zaman (saat)	
		Kurutma şekli	Tabii/odada

	1	2	3	4	5	6
Koni derinliği, mm						
Kap no						
Yaş numune + kap, g						
Kuru numune + kap, g						
Su miktarı, g						
Kap, g						
Kuru numune, g						
Su muhtevası, %						
Likit limit, %						



5.1.2.2 Deney 2 (B): Likit limitin çarpmalı cihazla tayini (yarı logaritmik grafik kullanılarak)

5.1.2.2.1 Genel

Bu deney, açıkta kurutulmuş zeminin likit limitinin bulunması ile ilgili olup, doğal durumlarındaki numunelere de uygulanabilir (Madde 5.1.2.2.7 Not 1).

5.1.2.2.2 Cihazlar

Elek ve tavaşı, 425 µm göz açıklıklı elek,

Cam bir plâka, kalınlığı en az 9 mm, kenar uzunluğu en az 45 cm olan, kare biçiminde düz yüzeyli,

Palet bıçağı, B türü iki adet,

Likit limit cihazı, önemli ayrıntıları Şekil 5'te gösterilen (Madde 5.1.2.2.7 Not 2),

Oluk açma bıçağı ile düşme yüksekliği ölçeği, önemli ayrıntıları Şekil 6'da gösterilen,

Porselen bir pota, 150 mm çaplı olan,

Nemli bez

Plâstik piset, damıtık su dolu,

Kap, 200 g - 250 g yaş zemini içine alabilecek büyüklükte, paslanmaz, hava geçirmez.

Ayrıca, su muhtevasının tayini için Deney 1'de belirtilen cihazlar.

5.1.2.2.3 Cihazın ayarlanması

5.1.2.2.3.1 Likit limit cihazının, her deneyden önce temiz, kuru ve iyi çalışır durumda olup olmadığı denetlenmeli, pirinç kabın serbestçe düşebilmesine ve menteşede yan oynamaların gereğinden çok olmamasına özen gösterilmelidir. Oluk açma bıçağı da temiz ve kuru olmalı, zorunlu boyutları Şekil 6'da verilenleri sağlamalıdır (Madde 5.1.2.2.7 Not 3).

5.1.2.2.3.2 Deney sırasında likit limit cihazı kabının kaldırılacağı yükseklik, kap, en yüksek durumuna getirildiği zaman, 1 cm kalınlığındaki master ölçeğin kap ile taban arasından kılı kılina geçebileceği biçimde ayarlanmalıdır.

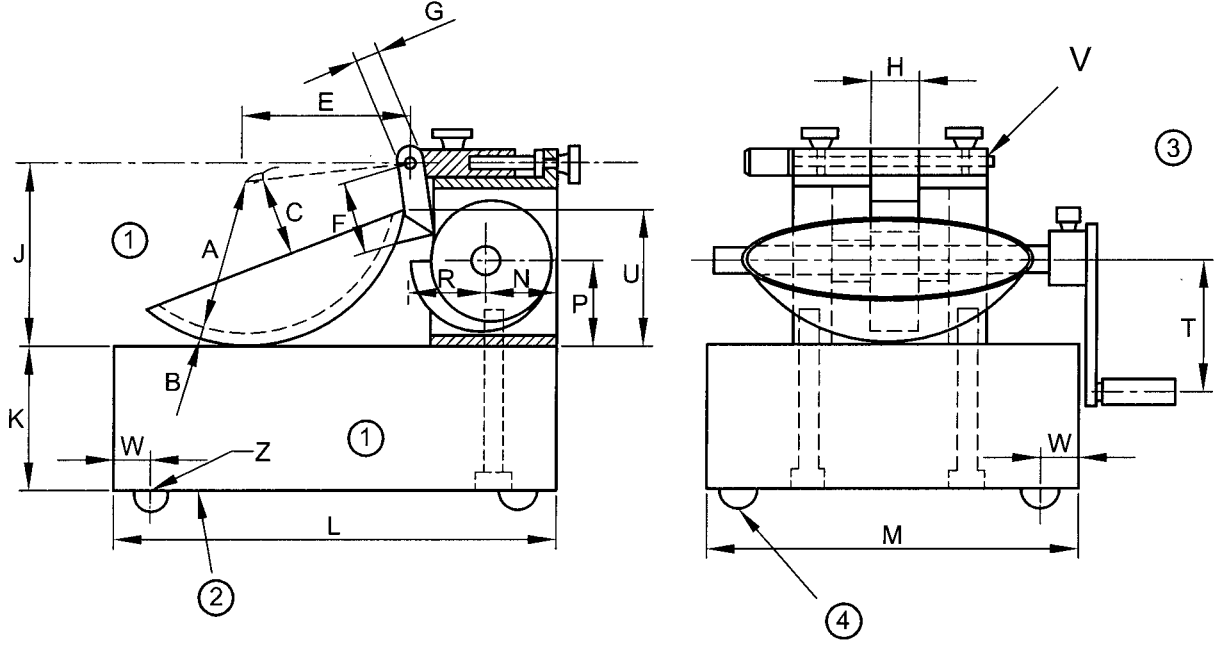
5.1.2.2.4 Deneyin yapılışı

Deneyde kullanılacak numunenin başlangıç su muhtevasının likit limitten düşük olması gerekir.

5.1.2.2.4.1 Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna (Madde 4.3) uygun olarak 425 µm'lik elekten geçirilen yaklaşık 200 g numune alınır. 425 µm'lik elekten geçen miktar toplam zemin numunesine bölünür 425 µm'lik elekten geçen yüzde bulunur. Numune cam plâkanın üstüne veya porselen potaya konur; damıtık su katılarak, homojen bir hamur durumuna gelene kadar, palet bıçağıyla iyice karıştırılır. Sonra bu karışım, suyun numunenin her yanına yayılmasını sağlamak amacıyla, hava geçirmez bir kap içerisinde 24 saat süreyle oda sıcaklığında desikatörde bekletilir. Başlangıç su muhtevasının likit limitten düşük olması gerekir.

5.1.2.2.4.2 Numune kaptan çıkarılır ve en az 10 dakika süreyle yeniden karıştırılır. Bazı zeminlerde güvenilir sonuçlar alınabilmesi için deneye başlamadan önce numunenin 40 dakikaya kadar uzayabilen bir süre boyunca sürekli olarak karıştırılması gerekebilir. Elde edilen zemin-su karışımından bir miktar alınarak likit limit cihazının kabı içine konur (bu sırada kap tabana oturur konumda olmalıdır), yüzeyi tabana paralel olarak düzlenir ve oluk açma bıçağı, menteşenin ortasından geçen çap boyunca kap içinde hareket ettirilerek, numune ikiye bölünür. Bıçağın hareketi sırasında bıçak, kap yüzeyine dik tutulmalı, bıçağın keskin ucu hareket yönüne bakmalıdır. Böylece numunenin ortasında 'V' kesitli bir oluk açılmış olur. Krank kolu saniyede 2 devirlik bir hızla çevrilerek, iki yanda kalan zemin, oluğun dip kısmında 13 mm boyunca birbirine değene kadar, kap kaldırılıp düşürülür. Değmenin sağlandığı kesimin uzunluğu, oluk açma bıçağının ucuyla veya bir cetvelle ölçülür. Oluktaki bu kapanmayı sağlayan düşüş sayısı kaydedilir. Bazı zeminlerde oluk, zemindeki akma yoluyla kapanacağına, zeminin kap yüzeyi boyunca kayması yoluyla kapanma eğilimindedir. Bu gibi durumlarda, elde edilen sonuca güvenilmemeli ve zeminde akma görülene kadar deney tekrarlanmalıdır. Birkaç kez su eklenmesine karşın yine kayma oluyorsa, deneyin bu zeminde uygulanmadığı sonucuna varılır ve deney raporunda likit limitin ölçülemediği belirtilir.

5.1.2.2.4.3 Oluğun kapanmış olan kesiminin çevresinden, palet bıçağıyla alınan yaklaşık 30 g numune, (10 g'dan daha az olmamalıdır) deney kabına konur ve Deney 1'deki metotla su muhtevası ölçülür.



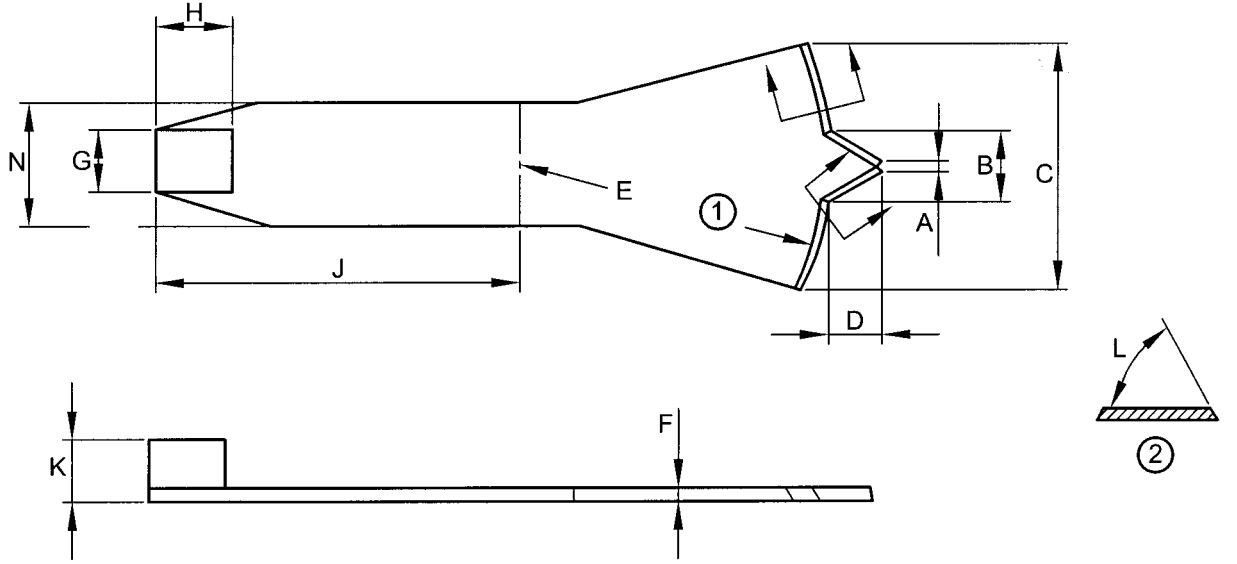
Harf Gösterimi	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>E</u>	F	G	H	<u>J</u>	<u>K</u>	<u>L</u>
Ölçü (mm)	$54 \pm 0,5$	$2 \pm 0,25$	$27 \pm 0,5$	56 ± 2	32	10	16	60 ± 1	50 ± 2	150 ± 2
Harf Gösterimi	<u>M</u>	N	P	R	T	<u>U</u>	V	W	Z	
Ölçü (mm)	125 ± 3	24	28	24	45	47 ± 1	3,8	13	6,5	

Açıklamalar

- 1 Küresel yarıçap
- 2 Sert lâstik taban
- 3 Paslanmaz çelik veya pirinç pim
- 4 Yumuşak lâstik ayak

Not - Zorunlu boyutların altı çizilmiştir, mecburî işlevlerini yerine getirebilen başka bir cihaz da kullanılabilir

Şekil 5 - Likit limitin tayin edilmesinde kullanılan çarpmalı cihaz



Harf Gösterimi	<u>A</u>	<u>B</u>	<u>C</u>	<u>D</u>	<u>E</u>	<u>F</u>
Ölçü (mm)	$2 \pm 0,15$	$11 \pm 0,25$	$40 \pm 0,5$	$8 \pm 0,1$	$50 \pm 0,5$	1,6 ilâ 2,0
Harf Gösterimi	<u>G</u>	<u>H</u>	<u>J</u>	<u>K</u>	<u>L</u>	<u>N</u>
Ölçü (mm)	> 10	13	60	$10 \pm 0,1$	45° ilâ 60°	20

Açıklamalar

- 1 Yarıçap
2 Kesit

Not - Zorunlu boyutların altı çizilmiştir, mecburî işlevlerini yerine getirebilen başka bir cihaz da kullanılabilir

Şekil 6 - Pirinç veya paslanmaz çelikten imal edilmiş oluk açma bıçağı ve düşme yüksekliği ölççeği

5.1.2.2.4.4 Aynı numune kullanılarak ve su muhtevası gittikçe arttırılarak Madde 5.1.2.2.4.2 ve Madde 5.1.2.2.4.3'teki işlemler, toplam olarak en az beş defa uygulanır. Başlangıçta seçilen su ve deney sırasında eklenen su miktarları, elde edilen düşüş sayılarının 10 ile 50 arasında eşit aralıklarla dağılması sağlanacak biçimde ayarlanmalıdır. Deney, numunenin su muhtevası arttırılarak yürütülmelidir. Numunenin, su eklemek amacıyla likit limit kabından her çıkarılışında, kap ve oluk açma bıçağı yıkanıp kurutulmalıdır.

5.1.2.2.4.5 Yukarıda anlatılan işlemler sırasında, çabuk kurumayı önlemek amacıyla cam plâka üzerindeki veya porselen pota içindeki numune nemli bir bezle örtülmelidir.

5.1.2.2.5 Hesaplamalar

Her denemede elde edilen su muhtevasına karşı düşüş sayısı, yarı logaritmik bir grafik kâğıdı üzerine işaretlenir (Çizelge 8). Bu işlem için su muhtevası değerleri aritmetik düşey ekseninde, düşüş sayısı ise logaritmik olarak yatay eksene işaretlenmelidir. Elde edilen noktalardan geçen en iyi doğru çizilir. Elde edilen 'akış doğrusu' üzerinde 25 düşüş karşısındaki su muhtevası zeminin likit limitini verir.

5.1.2.2.6 Sonuçların gösterilmesi

Zeminin likit limiti (w_L) % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir. Toplam malzemenin 425 μm 'lik elekten geçen yüzdesi kaydedilir. Ayrıca, numunenin deneyden önceki durumu, numunenin, 'doğal', 'odada kurutulmuş' veya 'kurutma metodu bilinmiyor' biçiminde kaydedilmelidir. Deneyde uygulanan metodun da belirtilmesi gerekir.

5.1.2.2.7 Notlar

Not 1 - Numunelerin doğal durumlarında deneye tâbi tutulması: Zeminin içinde iri daneler bulunmadığı ve numunenin tamamı 425 μm göz açıklıklı elekten geçtiği durumlarda, bu deneyin, Madde 4.3'teki gibi bir hazırlama işlemi uygulanmadan yapılması çoğu kez daha uygun olur. Zeminler doğal durumlarında deneye tâbi tutuldukları zaman elde edilen sonuçlar, açıkta kurutuldukları zaman alınan sonuçlarından genellikle farklı olur. Zemin doğal durumda deneye tâbi tutulmuşsa, bunun deney raporunda belirtilmesi gerekir. Zeminde iri daneler varsa, deneyde numunenin sadece 425 μm 'lik elekten geçen bölümü kullanılmalıdır. Bu amaçla, deneye yetecek miktarda malzeme elde edilene kadar, yaş numune ovularak elekten geçirilir.

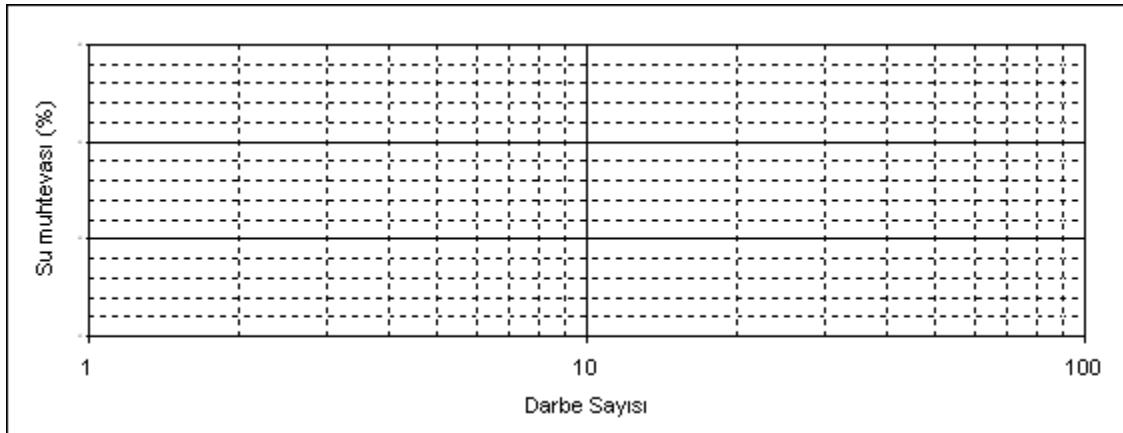
Not 2 - Cihaz tabanının sahip olması gerekli özellikleri: Likit limit cihazının tabanı, kalınlığı 13 mm, boyu 150 mm, eni 125 mm olan 4 adet vulkanize kauçuk tabakanın üst üste yapıştırılmasıyla oluşturulmalı veya dinamik özellikleri bakımından buna eşdeğer bir malzemedan yapılmış olmalıdır. Çapı yaklaşık 6,5 mm olan çelik bir bilye, gerekli uygun özelliklerde olan bir taban üzerine 25 cm'lik bir yükseklikten bırakıldığında, en az 18 cm'lik bir yüksekliğe kadar sekmelidir. Tabanın tamamı sert kauçuktan başka bir malzemedan yapılmışsa, deney masasının etkisini gidermek amacıyla, 13 mm çapında, yarım küre biçiminde dört lâstik ayağı bulunmalıdır. Tabanın yüzeyi pürüzsüz olmalıdır.

Not 3 - Oluk açma bıçağı, uç genişliği 3 mm olacak kadar aşındığı zaman, bu genişlik yeniden 2 mm genişliğe getirilmeden kullanılmamalıdır. Bıçak boyutlarını denetlemekte kullanılabilecek standart bir şablon ölçeğinin bulundurulması yararlı olur.

Not 4 - Likit limitin çarpmalı cihaz ile tayin edilmesi deneyinde Çizelge 8'de verilen deney formu kullanılabilir.

Çizelge 8 - Likit limit, plâstik limit ve büzülme deneylerinde kullanılabilir form

Lâb. no		Kurutma şekli	Tabii/odada					
Gönderen		Numune kabul tarihi						
Ait olduğu proje		Deney başlangıç tarihi						
Kuyu/sondaj no		Deney bitiş tarihi						
Numune no		Deneyi yapan						
		Kontrol eden						
LİKİT LİMİT		Beş Nokta					Tek Nokta	
		1	2	3	4	5	1	2
	Kap No							
	Darbe Adedi							
	Yaş numune + kap, g							
	Kuru numune + kap, g							
	Su miktarı, g							
	Kap, g							
	Kuru numune, g							
	Su muhtevası, %							
Likit limit, %								
PLÂSTİK LİMİT		1	2	3				
	Kap No							
	Yaş numune + kap, g							
	Kuru numune + kap, g							
	Su miktarı, g							
	Kap, g							
	Kuru numune, g							
Su muhtevası, %								
BÜZÜLME LİMİTİ		Hacimsel					Tek eksenli	
	Kap No		Kap No				L ₀	
	Yaş numune + kap, g		Cıva + kap, g				L	
	Kuru numune + kap, g		Kap, g					
	Su miktarı, g		Cıva, g					
	Kap, g		Malzeme hacmi, V, cm ³					
	Kuru numune, M ₀ , g		Kap hacmi, V ₀ , cm ³					
Su muhtevası, W _n , %		Büzülme limiti, $RL = \frac{W_n - (V_0 - V) \rho_w}{M_0}$, %						



Likit limit, %	
Plâstik limit, %	
Plâstisite indisi, %	

Büzülme limiti, %	
Tek eksenli büzülme, %	

5.1.2.3 Deney 2 (C): Likit limitin çarpmalı cihaz ile tayini (tek nokta yöntemi ile ölçüm)

5.1.2.3.1 Genel

Bu deney, açıkta kurutulmuş zeminin likit limitinin bulunması ile ilgili olup, doğal durumlarındaki numunelere de uygulanabilir (Madde 5.1.2.2.7 Not 1).

5.1.2.3.2 Cihazlar

Elek ve tavaşı, 425 µm göz açıklıklı elek,

Cam plâka, kalınlığı en az 9 mm, kenar uzunluğu en az 45 cm olan, kare biçiminde düz yüzeyli,

Palet bıçağı, B türü iki adet,

Likit limit cihazı, önemli ayrıntıları Şekil 5'te verilen (Madde 5.1.2.2.7 Not 2)

Oluk açma bıçağı ile bir düşme yüksekliği ölçeği, önemli ayrıntıları Şekil 6'da gösterilen,

Porselen pota, 150 mm çaplı olan,

Nemli bez

Plâstik piset, damıtık su dolu,

Kap, 200 g - 250 g yaş zemini içine alabilecek büyüklükte, paslanmaz, hava geçirmez,

Ayrıca, su muhtevasının tayini için Deney 1'de belirtilen cihazlar.

5.1.2.3.3 Cihazın ayarlanması

5.1.2.3.3.1 Şekil 5'teki likit limit cihazının, her deneyden önce temiz, kuru ve iyi çalışır durumda olup olmadığı kontrol edilmeli, piriç kabın serbestçe düşebilmesine ve menteşedeki yanıl hareketlerin gereğinden çok olmamasına özen gösterilmelidir. Oluk açma bıçağı da temiz ve kuru olmalı, zorunlu boyutları Şekil 6'da gösterilenlere uygun olmalıdır (Madde 5.1.2.2.7 Not 3).

5.1.2.3.3.2 Deney sırasında, limit cihazı kabının kaldırılacağı yükseklik, kap, en yüksek durumuna getirildiği zaman, 1 cm kalınlığındaki master ölçeğın kap ile taban arasından kılı kılına geçebileceği biçimde ayarlanmalıdır..

5.1.2.3.4 Deneyin yapılışı

5.1.2.3.4.1 Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna (Madde 4.3) uygun olarak 425 µm'lik elekten geçirilen 200 g kadar numune alınır. 425 µm'lik elekten geçen miktar toplam zemin numunesine bölünür 425 µm'lik elekten geçen yüzde bulunur. Numune cam plâkanın üstüne veya porselen potaya konur; damıtık su katılarak, pek ve homojen bir hamur durumuna gelene kadar, palet bıçağıyla iyice karıştırılır. Sonra bu karışım, suyun numunenin her yanına yayılmasını sağlamak amacıyla, hava geçirmez bir kap içerisinde 24 saat süreyle oda sıcaklığında bekletilir.

5.1.2.3.4.2 Numune kaptan çıkarılır ve en az 10 dakika süreyle yeniden karıştırılır. Bazı zeminlerde güvenilir sonuçlar alınabilmesi için deneye başlamadan önce numunenin 40 dakikaya kadar uzayabilen bir süre boyunca sürekli olarak karıştırılması gerekebilir. Bu karıştırma sırasında numune su muhtevasının ölçüm kabına yerleştirildikten sonra 20 ilâ 30 vuruşta kapanmasını sağlayacak düzeye gelmesini sağlayacak miktarda su eklenir. Elde edilen zemin-su karışımından bir miktar alınarak likit limit cihazının kabı içine konur (bu sırada kap tabana oturur konumda olmalıdır), yüzeyi tabana paralel olarak düzlenir ve oluk açma bıçağı, menteşenin ortasından geçen çap boyunca kap içinde hareket ettirilerek, numune ikiye bölünür. Bıçağın hareketi sırasında bıçak, kap yüzeyine dik tutulmalı, bıçağın keskin ucu hareket yönüne bakmalıdır. Böylece numunenin ortasında 'V' kesitli bir oluk açılmış olur.

5.1.2.3.4.3 Krank kolu saniyede 2 devirlik bir hızla çevrilerek, iki yanda kalan zemin, oluğun dip kısmında 13 mm boyunca birbirine değene kadar, kap kaldırılıp düşürülür. Değmenin sağlandığı kesimin uzunluğu, oluk açma bıçağının ucuyla veya bir cetvelle ölçülür. Oluktaki bu kapanmayı sağlayan düşüş sayısı kaydedilir. Düşüş sayısı 20 ilâ 30 arasında ise deney başarı ile tamamlanmış kabul edilir. Bazı zeminlerde oluk, zemindeki akma yoluyla kapanacağına, zeminin kap yüzeyi boyunca kayması yoluyla kapanma eğilimindedir. Bu gibi durumlarda, elde edilen sonuca güvenilmemeli ve zeminde akma görülene değin deney tekrarlanmalıdır. Birkaç kez su eklenmesine karşın yine kayma oluyorsa, deneyin bu zeminde uygulanamayacağı sonucuna varılır ve deney raporunda likit limitin bu yöntemle ölçülemediği belirtilmelidir.

5.1.2.3.4.4 20 ilâ 30 vuruş sonucunda oluk kapanmamış ise, su muhtevası yeniden ayarlanır ve deney tekrarlanır.

5.1.2.3.4.5 İlk deneyde 20 ilâ 30 arasındaki herhangi bir vuruş sayısında (N_1) oluğun kapanması sağlanmışsa, oluğun kapanmış olan kesiminin çevresinden, palet bıçağıyla alınan yaklaşık 30 g numune (10 g'dan daha az olmamak şartıyla), deney kabına konur ve Deney 1'deki metotla su muhtevası (w_1) ölçülür.

5.1.2.3.4.6 Numune alındıktan sonra kabın içine alınan zemin numunesi kadar karışım eklenir ve tamamı kabın içinde karıştırılarak numuneye yeniden şekil verilir.

5.1.2.3.4.7 Madde 5.1.2.3.4.2 ve Madde 5.1.2.3.4.4'teki işlem tekrarlanır. Oluğun kapanması için gerekli vuruş sayısı (N_2) Madde 5.1.2.3.4.5'te bulunmuş vuruş sayısına eşit veya ± 2 farklı ise deney başarılı kabul edilir, Madde 5.1.2.3.4.5'te gösterilen biçimde su muhtevası numunesi alınır ve su muhtevası (w_2) ölçülür.

5.1.2.3.4.8 Yukarıda anlatılan işlemler sırasında, çabuk kurumayı önlemek amacıyla cam plâka üzerindeki veya porselen pota içindeki numune nemli bir bezle örtülmelidir.

5.1.2.3.5 Hesaplamalar

Tek nokta yöntemi ile likit limit (w_L) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$w_L = \left(\frac{w_1 + w_2}{2} \right) \left(\frac{N_1 + N_2}{25} \right)^{0,121}$$

Burada;

N_1, N_2 Oluğun 20 ilâ 30 vuruş arasında kapanmasını sağlayan birinci ve ikinci deneylerdeki vuruş sayısı,
 w_1, w_2 Birinci ve ikinci deneylerdeki numunelerin su muhtevası değerleri, (%)
 dir.

5.1.2.3.6 Sonuçların gösterilmesi

Zeminin likit limiti (w_L) % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir. Toplam malzemenin 425 μm 'lik elekten geçen yüzdesi kaydedilir. Ayrıca, numunenin deneyden önceki durumu, numunenin, 'doğal', 'odada kurutulmuş' veya 'kurutma metodu bilinmiyor' biçiminde kaydedilmelidir. Deneyde uygulanan metodun da belirtilmesi gerekir.

Not - Tek nokta yöntemine göre likit limit deneyinde Çizelge 8'de verilen form kullanılabilir.

5.1.3 Deney 3: Plâstik limitin tayini ve plâstisite indisinin bulunması

5.1.3.1 Genel

Bu deney, zeminin henüz plâstik kıvamda bulunduğu, en düşük su muhtevasının ölçülmesi ile ilgilidir (Madde 5.1.3.5 Not 1).

5.1.3.2 Cihazlar

Elek ve tavaşı, 425 μm göz açıklıklı elek,

Cam plâka, kalınlığı en az 9 mm, bir kenarının uzunluğu en az 450 mm olan, kare biçiminde, düz yüzeyli,

Palet bıçağı, iki adet B tipi,

Metal bir çubuk, 3 mm çapında, yaklaşık olarak 100 mm uzunluğunda

Porselen pota, 150 mm çaplı olan,

Kap, paslanmaz, hava geçirmez,

Ayrıca, su muhtevasının belirlenmesi için Deney 1'de belirtilen cihazlar.

5.1.3.3 Deneyin yapılışı

5.1.3.3.1 Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna (Madde 4.3) uygun olarak elde edilmiş ve likit limit deneyi için hazırlanmış olup 425 μm 'lik elekten geçen malzemedan yaklaşık 20 g numune alınır. Zeminin 425 μm elekten geçen kısmının yüzdesi kaydedilir. Numune homojen bir duruma gelene ve küçük bir top biçimini alabilecek kadar plâstik olana kadar, cam plâka üzerinde, damıtık su ile iyice karıştırılıp yoğrulur (Madde 5.1.3.5 Not 2). Böylece hazırlanmış numune yaklaşık olarak iki eşit parçaya bölünür. Bunlara yeniden top biçimi verildikten sonra bir danesine, Madde 5.1.3.3.2 ve Madde 5.1.3.3.3'teki işlemler uygulanır.

Diğeri ise daha sonra denenmek üzere paslanmaz ve hava geçirmez bir kap içerisine konur.

5.1.3.3.2 Küre halindeki numune, 3 mm çapında silindirik bir çubuk şeklini alana kadar cam plâka ile el ayası arasında yuvarlanır. Numunenin çapı yaklaşık 3 mm olduğu anda çatlama ve kopma belirmemişse zemin tekrar topak haline yoğrulur ve yeniden yumrulur. Çap tam 3 mm'ye indiği anda, yuvarlanan zeminde çatlayıp dağılmalar görülene değin bu işlem sürdürülür (Şekil 7). Çapın doğru olarak belirlenmesinde karşılaştırma ölçüğü olarak bir metal çubuk kullanılır.

5.1.3.3.3 Numunenin dağılan parçaları toplanıp bir numune kabına konur ve Deney 1'deki metotla su muhtevası ölçülür. Ölçüm için alınan numunenin yaş haldeki kütlesi en az 10 g olmalıdır.

5.1.3.3.4 Yukarıda Madde 5.1.3.3.2 ve Madde 5.1.3.3.3'te verilen işlemler, başlangıçtaki numunenin ikinci yarısı için tekrarlanır.

5.1.3.4 Sonuçların gösterilmesi

5.1.3.4.1 Madde 5.1.3.3'te bulunan su muhtevalarının ortalaması, zeminin plâstik limiti (w_p) olarak kabul edilir ve % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir. Ana malzemenin 425 μm 'lik elekten geçen yüzdesi de kaydedilir. Ayrıca numunenin deneyden önceki durumu, 'doğal su muhtevası', 'açıkta kurutulmuş', 'etüvde kurutulmuş' veya 'kurutma metodu bilinmiyor' biçiminde belirtilmelidir.

5.1.3.4.2 Zeminin plâstisite indisi bulunmak isteniyorsa, Deney 2 (A), Deney 2 (B) veya Deney 2 (C) ile bulunan likit limit kullanılarak:

$$I_p = w_L - w_p$$

eşitliği ile sonuca gidilir.

5.1.3.4.3 Plâstik limit deneyi gerçekleştirilemiyor veya plâstik limit, likit limite eşit veya ondan büyükse deney raporunda belirtilmelidir.

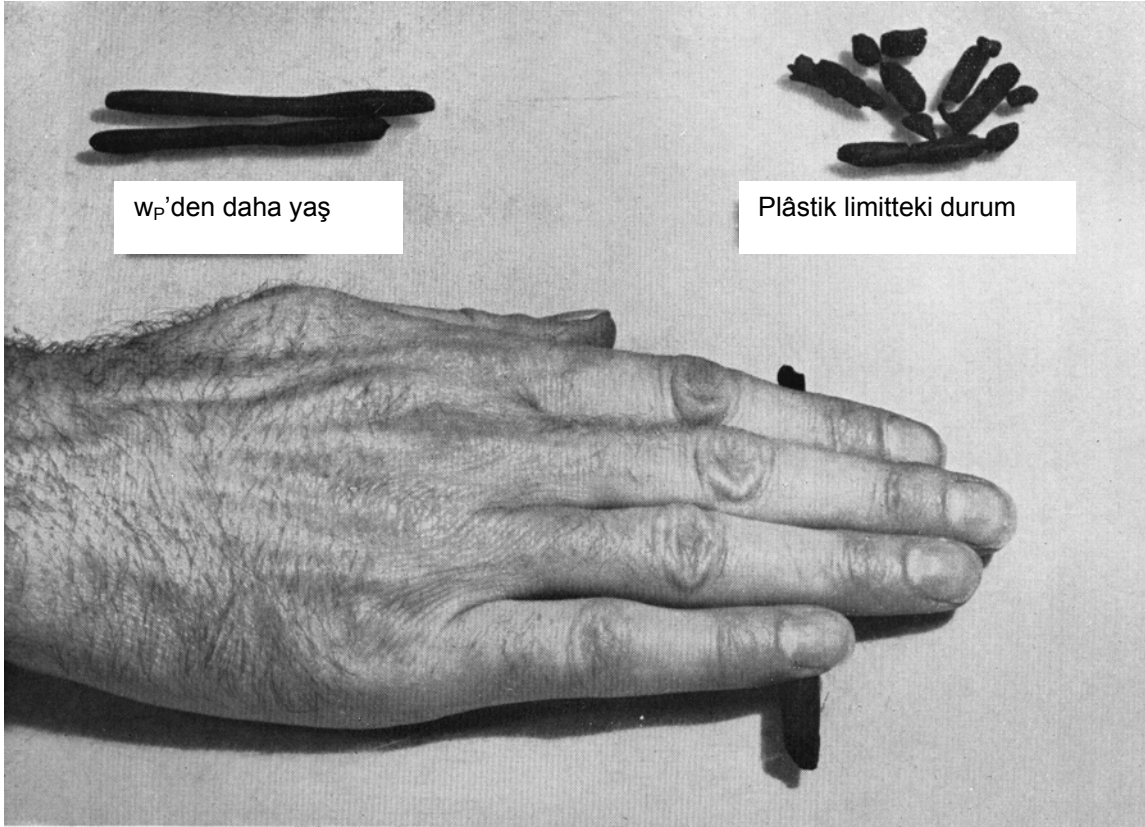
5.1.3.5 Notlar

Not 1 - Numunelerin doğal durumlarında deneye tâbi tutulması: Zeminin içinde iri daneler bulunmadığı ve numunenin tamamının 425 μm göz açıklıklı elekten geçtiği durumlarda, bu deneyin, Madde 4.3'teki gibi bir hazırlama işlemi uygulanmadan yapılması çoğu kez daha uygun olur. Zemin doğal durumunda deneye tâbi tutulmuşsa bunun deney raporunda belirtilmesi gerekir. Zeminde iri daneler varsa, deneyde numunenin sadece 425 μm 'lik elekten geçen bölümü kullanılmalıdır. Bu amaçla, deneye yetecek miktarda malzeme elde edilene kadar, yaş numune 425 μm 'lik elekten ovuşturularak geçirilir.

Not 2 - Likit limit deneyi, doğal durumundaki bir zeminde yapılıyorsa, plâstik limitin ölçülmesi için iyice karıştırılmış malzemedan başlangıçta az bir miktar ayırmak uygun olur. Bu numune Madde 5.1.3.3.1 ile Madde 5.1.3.3.3'te verilen metoda göre deneye tâbi tutulur. Ancak, başlangıçtaki su muhtevasının gereğinden yüksek olduğu durumlarda zemin, gerekli kıvama gelene kadar açıkta kurumaya bırakılmalıdır.

Not 3 - Deney en az iki kez yapılmalıdır.

Not 4 - Plâstik limit deneyinde Çizelge 8'de verilen form kullanılabilir.



Şekil 7 - Plâstik limitin belirlenmesi

5.1.4 Deney 4: Büzülme limitinin tayini

5.1.4.1 Deney 4(A): Tek eksenli büzülmenin tayini

5.1.4.1.1 Genel

Bu deney, zeminin tek eksenli (doğrusal) büzülme oranının tayini ile ilgilidir.

5.1.4.1.2 Cihazlar

Palet bıçağı, iki adet A tipi

Cam plâka, kalınlığı en az 9 mm, bir kenarının uzunluğu en az 45 cm olan, kare biçiminde, düz yüzeyli olan,

Porselen pota, çapı yaklaşık olarak 15 cm olan,

Kalıp, Şekil 8'de gösterilen ölçülerde, pirinç veya paslanmaz başka uygun bir malzemeden imal edilmiş olan,

Silikon gresi

Etüv, sürekli olarak $(60 \pm 5) ^\circ\text{C}$ ve $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sıcaklık sağlayabilen,

Elek, göz açıklığı $425 \mu\text{m}$ olan,

Kumpas, 15 cm uzunluğa kadar 0,5 mm doğrulukla ölçüm yapabilen.

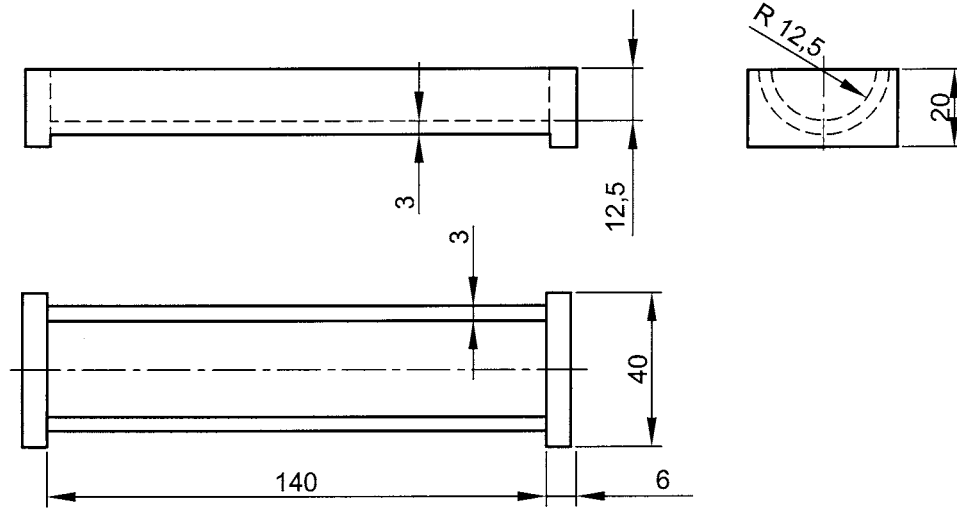
Ayrıca, su muhtevasının belirlenmesi için Deney 1'de belirtilen cihazlar.

5.1.4.1.3 Deneyin Yapılışı

5.1.4.1.3.1 Kalıp iyice temizlenir ve zeminin yapışmasını önlemek amacıyla, iç yüzeyleri silikon gresiyle hafifçe yağlanır.

5.1.4.1.3.2 Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna (Madde 4.3) uygun olarak elde edilmiş, $425 \mu\text{m}$ 'lik elekten geçen malzemeden yaklaşık 150 g numune alınır. Zeminin $425 \mu\text{m}$ 'lik elekten geçen yüzdesi kaydedilir. Numune, pota veya cam plâkanın üzerine konur, damıtık su eklenerek, palet bıçağıyla karıştırılır. Bu işlem, numune su muhtevası likit limit civarında ($\pm \% 2$) homojen bir hamur durumuna gelene kadar sürdürülür.

Ölçüler mm'dir



Şekil 8 - Tek eksenli büzülmenin ölçülmesinde kullanılan kalıp

5.1.4.1.3.3 Elde edilen zemin-su karışımı, kenarlarından çok az taşacak biçimde kalıba doldurulur ve içindeki hava kabarcıklarının çıkmasını sağlamak amacıyla hafifçe sarsılır. Numunenin üstü palet bıçağıyla, kalıbın üst kenarları düzeyinde düzlenir. Kalıbın kenarlarına bulaşmış olan zemin, ıslak bir bezle silinir.

5.1.4.1.3.4 Numunenin kurutulması işleminde, kalıp önce hava akımı olmayan bir yere konur ve numune, kalıp çerperinden çekilene kadar açıkta kurutulur; sonra büzülme büyük ölçüde tamamlanıncaya kadar (60 ± 5) °C sıcaklıklı bir etüvde ve son olarak da tam kurumayı sağlamak amacıyla (105 ± 5) °C sıcaklıklı bir etüvde bekletilir.

5.1.4.1.3.5 Kalıp ve içindeki numune soğutulur ve zemin çubuğun ortalama uzunluğu ölçülür. Numune kuruma sırasında eğrilmişse, kalıptan özenle çıkarılır ve alt ve üst yüzeylerinin uzunlukları ölçülür. Bu iki değer ortalama, etüvde kurumuş numunenin uzunluğu olarak alınır. Numune kötü bir biçimde çatlamış veya kırılmış ve bu nedenle ölçüm yapmak zorlanmışsa, deney, numuneyi daha yavaş kurutarak yeniden yapılmalıdır.

5.1.4.1.4 Hesaplamalar

Zeminin tek eksenli büzülme değeri (L_s), numunenin başlangıçtaki uzunluğunun yüzdesi olarak, aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$L_s = \left(1 - \frac{L}{L_0}\right) \times 100(\%)$$

Burada;

L Fırında kurutulmuş numune uzunluğu, (mm),

L_0 Numunenin başlangıç uzunluğu, (mm)

dur.

5.1.4.1.5 Sonuçların gösterilmesi

Zeminin tek eksenli büzülme değeri, % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir. Ayrıca, ana malzemenin 425 µm'lik elekten geçen yüzdesi kaydedilir.

Not - Tek eksenli büzülme deneyinde Çizelge 8'de verilen form kullanılabilir.

5.1.4.2 Deney 4 (B): Hacimsel büzülmenin tayini

5.1.4.2.1 Genel

Bu deney, zemin numunesinin 425 µm'lik elekten geçen bölümü üzerinde yapılır. Zemin, farklı dane dağılımı özellikleri taşıyorsa, bu deneyde yapılacak tayinin genel özelliklere etkisi değerlendirilmelidir.

Bu deneyde ince daneli zemin numunesi, kıvamı likit limite yaklaşıncaya kadar su katılarak karıştırılır. Bu doygun karışım hacmi bilinen bir kalıbın içine yerleştirildikten sonra çok yavaş olarak kurutulur. Numunenin son hacmi ve kütlesi ölçülür. Zeminin büzülme katsayıları bu ölçümler kullanılarak tayin edilir. Bu deney metodunda açıklanan büzülme faktörleri, sadece havada kurutulduğunda makul bir kuru direnç gösteren ince daneli zeminlere uygulanabilir.

Büzülme limiti (w_s), kohezyonlu bir zeminin en küçük boşluk oranında etüvde kurutulmasından sonra boşluklarını dolduran suyun miktarı olarak tarif edilir.

5.1.4.2.2 Cihazlar

Porselen pota, 150 mm çaplı,

Spatül, B tipi,

Büzülme kabı, altı düz, çapı yaklaşık 44 mm, yüksekliği yaklaşık 12 mm olan porselen veya metal kap,

Çelik cetvel, 150 mm'lik,

Cam kap, çapı 57 mm, yüksekliği 31 mm, kalınlığı 3 mm, ağzı açık ve pürüzsüz,

Cam levha, numuneyi cıvaya batırmak için üç iğnesi olan (Şekil 9),

Etüv, sürekli olarak (105 ± 5) °C sıcaklık sağlayabilen,

Elek, göz açıklığı 425 µm olan,

Silikon gresi

Damıtık su.

Ayrıca, su muhtevasının belirlenmesi için Deney 1'de belirtilen cihazlar.

5.1.4.2.3 Deneyin yapılışı

5.1.4.2.3.1 Zemin numunesi porselen potaya konulup damıtık su ile karıştırılır. Eklenecek su, karışımı likit limit civarındaki ($\pm \% 2$) bir kıvama getirecek kadar olmalıdır. Bu kıvamdaki zemin bir sıvı kadar akıcı olmamalı, ancak içinde kalmış havanın hafif sarsmalarla dışarı kaçabileceği akıcılığı da göstermelidir. Bu aşamada su muhtevasının olabildiğince düşük tutulması, özellikle kuruma esnasında yaygın çatlakların oluştuğu plâstik killerde önemlidir.

5.1.4.2.3.2 Hacim değişiminin ölçüleceği kabın içi, silikon gresi ile hafifçe sıvanarak zeminin kaba yapışması önlenir. Bu şekilde hazırlanan boş kabın kütlesi M_t kaydedilir. Büzülme kabı taşacak hale gelene kadar cıva ile doldurulur. Kap sonra büyük sığ bir kabın içine oturtulur. Cam plâka, büzülme kabının içine yavaşça bastırılarak kabın içindeki cıva fazlasının dış kaba taşması sağlanır. Bu sırada cam plâka ile cıva arasında havanın sıkışıp kalmamasına dikkat edilmelidir.

5.1.4.2.3.3 Büzülme kabının içindeki cıvanın hacmi cıvayı bir cam mezürün içine boşaltarak veya ölçülen kütlenin cıvanın yoğunluğu olan 135,5 kN/m³'e bölünmesiyle bulunur. Bu değer, ıslak zemin numunesinin hacmidir. Islak numune, büzülme kabının ortasına kap hacminin 1/3'ü kadar bir miktarda doldurulur. Kap, katı bir yüzeye yerleştirilmiş bir kartonun üzerine vurularak numunenin kenarlara yayılması sağlanır. Bu işlem kabın dolup, numunenin içinde bulunan tüm hava kabarcıkları yüzeye çıkana kadar tekrarlanır. Fazla numune kabın ağzından döküldükten sonra yüzeyi spatülle perdahlanır. Kabın dışına yapışmış numune de kenarlardan temizlenir.

5.1.4.2.3.4 Yüzey düzlendikten hemen sonra ıslak numune ve kap kütlesi M_w tartılarak bulunur. Numune rengi koyudan açık tona dönüşene kadar havada, bundan sonra (105 ± 5) °C'luk etüvde kurutulur. Bu kurutma sonucunda numune çatlamış veya kırılmış ise daha düşük su muhtevasında yeni bir numune hazırlanarak işlemler tekrarlanır. Numune sağlam ise, büzülme kabı ve kuru zemin kütlesi M_D olarak tartılır. Kuru numunenin hacmi birkaç yöntemle ölçülebilir. Şekil 9'da gösterilen yöntem en basitidir.

5.1.4.2.3.5 Cam kap tavanın içine yerleştirilerek ağzına kadar cıva ile doldurulur. Fazla cıva üç iğneli cam plâkanın kabın üzerine bastırılmasıyla dışarı taşırılır ve taşan kısmı alınır. Kabın kenarlarına yapışmış cıva dikkatle temizlenir. Taşacak cıvayı tutmak için porselen pota siğ tavanın içine oturtulur. Kuru numune cıvanın üzerine bırakılır. Üç iğneli cam plâka numunenin üstüne bastırılarak numunenin cıvanın altına batması, bu sırada hacmine eşit cıvanın dışarı taşması sağlanır. Cam plâka bastırıldıktan sonra plâka ile cıva arasında sıkışık hava kalmamasına dikkat edilmelidir. Kuru numunenin hacmi V , taşan cıva kütlelerinin, yoğunluğuna bölünmesiyle hesaplanır.

5.1.4.2.4 Hesaplamalar

Yaş ve kuru numunenin kütlesi aşağıdaki eşitliklerden hesaplanır:

$$M = M_w - M_T$$

$$M_0 = M_D - M_T$$

Burada;

M_w Yaş numune + kap kütlesi, (g),
 M_D Kuru numune + kap kütlesi, (g),
 M Yaş numunenin kütlesi, (g),
 M_0 Kuru numunesinin kütlesi, (g),
 M_T Ölçüm kabının darası, (g)
 dır.

Zemin numunesinin başlangıç su muhtevası aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$w = \left(\frac{M - M_0}{M_0} \right) * 100$$

Buradan, zeminin büzülme limiti su muhtevası olarak aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$w_s = w - \left[\frac{(V_0 - V)\rho_w}{M_0} \right] * 100$$

Burada;

V_0 Kap hacmi, (cm³),
 V Kuru numune hacmi, (cm³),
 ρ_w Suyun yoğunluğu, (9,81 kN/m³)
 dur.

Büzülme oranı SR ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

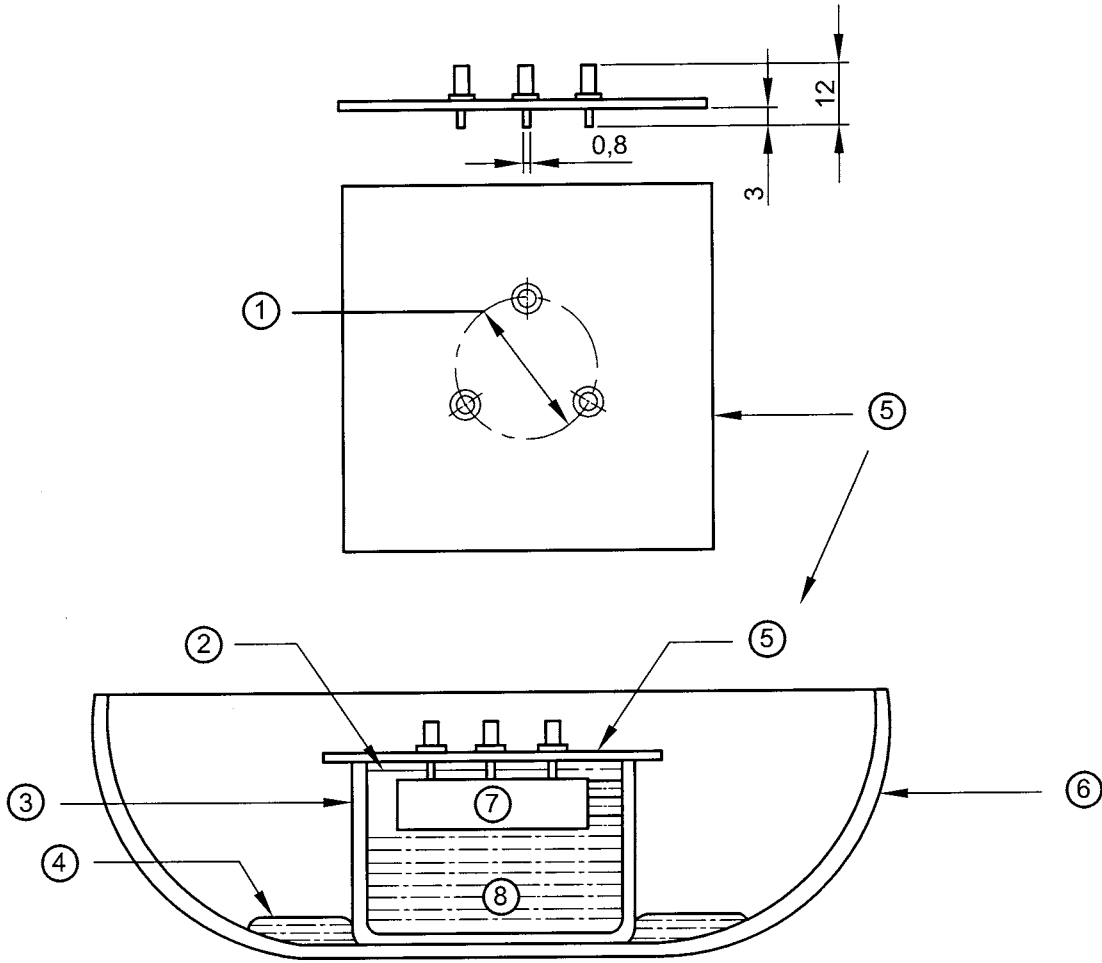
$$SR = \frac{M_0}{V\rho_w}$$

5.1.4.2.5 Sonuçların gösterilmesi

Zemin numunesinin büzülme limiti (w_s) % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak ve numunenin büzülme oranı (0,01'e kadar) verilir. Ayrıca, istenirse numunenin görsel özellikleri ile başlangıç su muhtevası % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilebilir.

Not - Hacimsel büzülme deneyinde Çizelge 8'de verilen form kullanılabilir:

Ölçüler mm'dir

**Açıklamalar**

- | | | | |
|---|-----------------------------------|---|------------------------|
| 1 | Üç adet paslanmaya dayanıklı iğne | 5 | Cam veya akrilik plâka |
| 2 | Bu bölümde hava kalmamalıdır | 6 | Porselen pota |
| 3 | Daldırma fincanı | 7 | Numune |
| 4 | Taşan cıva | 8 | Cıva |

Şekil 9 - Hacimsel büzülme limiti deneyi için gerekli deney düzeneği ve boyutları

5.1.5 Deney 5: Zemin danelerinin bağıl yoğunluğunun (özgül ağırlık) tayini

5.1.5.1 Deney 5 (A): İnce daneli zeminler için deney metodu

5.1.5.1.1 Genel

Bu deney, ince daneli zeminlerde danelerin bağıl yoğunluğunun tayini için uygulanır. Bu deney, elekten geçecek biçimde öğütülmesi şartıyla orta ve iri danelere de uygulanabilir.

5.1.5.1.2 Cihazlar

Hacim şişesi (piknometre), Şekil 10'da gösterilen en az 50 mL kapasiteli ve sıcağa dayanıklı,

Su banyosu, (20 ± 1) °C sıcaklık sağlayabilen,

Elek, 4,75 mm veya daha küçük göz açıklıklı,

Desikatör, çapı 200 mm ilâ 250 mm dolayında, vakuma dayanıklı,

Desikatör, içerisinde bir miktar susuz silika jeli bulunan,

Etüv, sürekli olarak (105 ± 5) °C sıcaklık sağlayabilen,

Terazi, 0,001 g doğrulukla tartma yapabilen,

Vakum pompası

Spatül veya cam çubuk, ağız kesimi 130 mm uzunluğunda, 3 mm genişliğinde olan,

Su püskürtme şişesi (piset), havası alınmış damıtık su dolu, plâstikten,

Numune bölme kutusu, oluklu açıklıkları 6 mm olan,

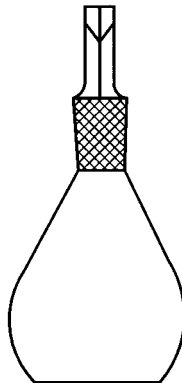
Plâstik hortum, vakum kaynağı ile desikatörü birbirine bağlayan, uygun çap ve uzunlukta,

Termometre, 0 °C ile 50 °C arasında ölçüm yapabilen, 0,5 °C hassasiyetli.

5.1.5.1.3 Deneyin yapılışı

5.1.5.1.3.1 Hacim şişesi, sıcaklığı (105 ± 5) °C olan etüvde kurutulur, desikatörde soğutulur ve 0,001 g doğrulukla tartılır (M_1).

5.1.5.1.3.2 Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna (Madde 4.3) uygun olarak elde edilmiş malzemeden en az 400 g alınır ve gerekirse 4,75 mm'lik elekten geçecek biçimde öğütülür. Bu malzeme yaklaşık 250 g numune elde edilene kadar çeyrekleme metoduyla küçültülür. Elde edilen numune, sıcaklığı (105 ± 5) °C olan bir etüvde kurutulur. Su muhtevası deneyinde anlatıldığı şekilde, oda sıcaklığına kadar soğutulur. En az 10 g kütlesindeki zemin numunesi bağıl yoğunluk şişesine aktarılır. Şişe, içerisindeki zemin ve kapağı ile birlikte 0,001 g doğrulukla tartılır (M_2). Zeminin etüvde kurutulması işlemi sonucunda hidrasyon suyunda meydana gelecek kayıplardan ötürü danelerin bağıl yoğunluğunda değişme olabileceğinden kuşulanılıyorsa, zemin doğal durumunda denenmeli ve kullanılan numunenin kütlesi deneyin sonunda zemini, sıcaklığı 80 °C'u aşmayan bir etüvde ve gerekirse 24 saatten daha uzun bir süre kurutularak ölçülmelidir. Ancak deney, sıkıştırma deneyinde hava boşlukları yüzdesinin hesabı için yapılıyorsa (105 ± 5) °C sıcaklıklı etüv kullanılmalıdır.



Şekil 10 - İnce daneli zeminlerin bağıl yoğunluğun tayininde kullanılan hacim şişesi

5.1.5.1.3.3 Hacim şişesi içindeki numuneyi ancak örtecek miktarda, havası alınmış damıtık su eklenir, bazı zeminler (numunenin, suda eriyebilen tuzlar içeren zeminler) için su yerine gazyağı veya alkol kullanılabilir. Bunlardan herhangi biri kullanıldığında, durum deney raporunda belirtilmeli ve sıvının deneyde kullanılan belirli sıcaklıkta yoğunluğunu ölçmek için ayrı bir deney yapılmalıdır. Hacim şişesi, içerisindeki zemin numunesi ve suyla, (üzerinde kapağı bulunmaksızın), vakum desikatörüne konur ve emme uygulanarak yavaşça 760 mm eşdeğer cıva basıncına düşürülür. Bu işlem sırasında, zemin içindeki hava kabarcıklarının şiddetli köpürmeye yol açmamasına özen gösterilmelidir. Bu yapılmazsa, karışımdan sıçrayan ufak damlacıklar hacim şişesinin ağzından çevreye saçılarak malzeme kaybına yol açar. Hacim şişesi, numuneden hava çıkışı durana kadar desikatörde bekletilir.

5.1.5.1.3.4 Vakum kaldırılır ve desikatörün kapağı açılır. Hacim şişesinin içindeki numune, cam çubuk ile özenle karıştırılır veya hacim şişesi çalkalanır. Spatülün hacim şişesinden çıkarılmasından önce, üzerine yapışmış olan zemin danecikleri, birkaç damla havası alınmış damıtık suyla yıkanır. Desikatörün kapağı kapatılır ve yeniden vakum uygulanır.

5.1.5.1.3.5 Numune, hava kabarcıklarından arındırılana kadar Madde 5.1.5.1.3.3 ve Madde 5.1.5.1.3.4'teki işlem yenilenir.

5.1.5.1.3.6 Hacim şişesi, desikatörden çıkarılır ve havası alınmış damıtık su ya da deney sıvısı eklenerek işaret çizgisine kadar doldurulur. Kapağı kapatıldıktan sonra, boyun seviyesine kadar su banyosu içine batırılır ve yaklaşık olarak 1 saat süreyle banyonun sıcaklığına (20 ± 1) °C erişene kadar bekletilir. Hacim şişesi içerisindeki sıvıda gözle görülür bir azalma olursa, kapak çıkarılır ve hacim şişesi işaret çizgisine kadar doldurup kılcal borusundan taşacak kadar havası alınmış damıtık su ya da sıvı eklendikten sonra kapak yeniden kapatılır. Hacim şişesi banyo içerisine konur ve banyonun sıcaklığına yeniden erişene kadar bekletilir. Hacim şişesinin içindeki suda yine azalma oluyorsa, hacim şişesinin işaret çizgisine kadar dolması sağlanana kadar bu işlem tekrarlanır.

5.1.5.1.3.7 Kapağı kapalı durumdaki hacim şişesi banyodan çıkartılır ve dış yüzeyi iyice kurulandıktan sonra 0,01 g doğrulukla tartılır (M_3).

5.1.5.1.3.8 Hacim şişesinin içindekiler boşaltılır, hacim şişesi temizlenir ve havası alınmış damıtık su veya deney sıvısı ile işaret çizgisine kadar doldurulur, kapağı kapatılır ve su banyosunda 1 saat süreyle, veya banyonun deney için seçilmiş sıcaklığına erişene kadar bekletilir. Hacim şişesinin içerisindeki suda (deney sıvısında) gözle görülür bir azalma olursa, kapak çıkarılır ve hacim şişesini dolduracak kadar havası alınmış damıtık su eklendikten sonra kapak yeniden kapatılır. Hacim şişesi banyo içerisine konur ve banyonun belirli sıcaklığına yeniden erişmesine kadar bekletilir. Hacim şişesinin içindeki suda (deney sıvısında) yine azalma oluyorsa, hacim şişesinin işaret çizgisine kadar dolması sağlanana kadar bu işlem tekrarlanır. Son olarak, hacim şişesi banyodan çıkarılır ve dış yüzeyi iyice kurulandıktan sonra 0,01 doğrulukla tartılır (M_4).

5.1.5.1.3.9 Yukarıda, Madde 5.1.5.1.3.1 ile Madde 5.1.5.1.3.7 arasındaki işlemler, aynı zeminden alınan ikinci numune üzerinde tekrarlanır ve böylece iki bağıl yoğunluk değeri elde edilmiş olur. Zeminlerin pek çoğu, aynı büyüklükteki ortalama zemin danesinden daha ağır veya daha hafif daneler içerir. Böyle danelerin çok olduğu zeminlerde, özenle yapılan bağıl yoğunluk deneyleri farklı sonuç verir. Bu gibi durumlarda, iyi bir ortalama değer elde etmek için deneyin bir çok defa tekrarı gerekebilir.

5.1.5.1.4 Hesaplamalar

Zemin danelerinin bağıl yoğunluğu (G_s) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$G_s = \frac{\rho_L (M_2 - M_1)}{\rho_w (M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)}$$

Burada;

M_1 Hacim şişesinin kütlesi, (g),

M_2 Hacim şişesi ile kuru zemin kütlesi, (g),

M_3 Hacim şişesi, zemin ve sıvının kütlesi, (g),

M_4 Hacim şişesinin sadece sıvı ile dolu kütlesi, (g),

ρ_L Deneyde kullanılan sıvının deney sıcaklığında yoğunluğu, (kN/m^3),

ρ_w Damıtık suyun deney sıcaklığında yoğunluğu, (kN/m^3)

dur.

5.1.5.1.5 Sonuçların gösterilmesi

Elde edilen iki değerin ortalaması, zemin danelerinin bağıl yoğunluğu olarak kabul edilir ve (20 ± 1) °C sıcaklık için en yakın 0,01 hanesine yuvarlatılarak verilir. İki değer arasındaki fark 0,03'ten büyük çıkmışsa, deney tekrarlanır.

5.1.5.1.6 Notlar

Not 1 - 4,75 mm'den daha küçük göz açıklıklı kullanılması durumunda, kullanılan elek deney raporunda belirtilmelidir.

Not 2 - Numuneden hava çıkarma işlemi, vakum desikatörü yerine, doğrudan hacim şişesine verilerek ve hacim şişesinin elle çalkalanmasıyla da yapılabilir.

Not 3 - 50 mL hacme sahip piknometreye 10 g zemin numunesi, 500 mL hacme sahip piknometreye ise 100 g zemin numunesi konulması önerilir.

Not 4 - 500 mL hacme sahip piknometreye ve 100 g zemin numunesi kullanılması durumunda, 0,01 g doğrulukla tartma yapabilen bir terazi kullanılabilir.

Not 5 - İnce daneli zeminler için bağıl yoğunluk deneyinde, Çizelge 9'da verilen form kullanılabilir.

5.1.5.2 Deney 5 (B): Orta ve iri daneli zeminler için deney metodu

5.1.5.2.1 Genel

Bu deney orta ve iri daneli zeminlerde danelerin bağıl yoğunluğunun tayini ile ilgilidir.

5.1.5.2.2 Cihazlar

Hacim şişesi, Şekil 11'de verilen tipte, hacmi 1000 mL olan,

Elek, 40 mm göz açıklıklı,

Etüv, sürekli olarak (105 ± 5) °C sıcaklık sağlayabilen,

Terazi, 0,01 g doğrulukla tartma yapabilen,

Desikatör, içerisinde bir miktar susuz silika jeli bulunan, çapı 200-250 mm olan,

Cam çubuk, çapı 6 mm, uzunluğu 300 mm olan,

Termometre, 0 °C ile 50 °C arasındaki sıcaklıkları ölçebilen, 1 °C hassasiyetli,

Vakum pompası

5.1.5.2.3 Deneyin yapılışı

5.1.5.2.3.1 Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna (Madde 4.3) uygun olarak elde edilmiş malzemeden, gerekirse, çeyrekleme veya yarılama metoduyla azaltılarak yaklaşık 400 g numune elde edilir. 40 mm'den büyük daneler elekten geçecek biçimde kırılır ve numune (105 ± 5) °C sıcaklıklı etüvde kurutulur (Madde 5.1.5.2.6 Not 1) ve oda sıcaklığına kadar soğutulur.

5.1.5.2.3.2 Hacim şişesi kurutulur ve 0,01 g duyarlılıkla tartılır (M_1).

5.1.5.2.3.3 Vidalı kapak çıkarılır ve 400 g - 500 g numune (Madde 5.1.5.2.6 Not 2) doğruca hacim şişesine boşaltılır. Aşırı gözenekli daneler içeren zeminlerde, gözeneklerdeki havanın çıkarılmasını kolaylaştırmak için zeminin bir havan ve lâstik kaplı bir havaneli yardımıyla ufalanması yararlı olur.

Çizelge 9 - Bağıl yoğunluk deneyi formu

Lâboratuvar no	
Numuneyi gönderen	
Ait olduğu proje	
Numune tipi	

Numune kabul tarihi	
Deneyi tarihi	
Deneyi yapan	
Kontrol eden	

Sıra No	Numune No	Sıcaklık t °C	ρ_L kN/m ³	ρ_w kN/m ³	M ₁ g	M ₂ g	M ₃ g	M ₄ g	G _s	G _s	Düşünceler
1											
2											
3											
4											
5											
6											
7											
8											

5.1.5.2.3.4 Sıcaklığı, deney sırasındaki ortalama oda sıcaklığından en çok ± 2 °C farklı olan su, yaklaşık olarak yarısı dolana kadar kavanoza konur ve karışım, zemin içindeki hava kabarcıklarının çıkarılması amacıyla cam çubukla iyice karıştırılır. Vidalı kapak kapatılır (Madde 5.1.5.2.6 Not 4) ve hacim şişesi su ile doldurulur. Karışım 4 saat süreyle bekletilir. Numune içindeki hava, hacim şişesi kapağındaki delikten vakum pompasıyla emme uygulayarak ta çıkarılabilir. Bundan sonra hacim şişesi, su üstündeki köpüğün, konik kesiminin altına takılıp kalmamasına özen gösterilerek, kapağın tepesine kadar suyla doldurulur. Hacim şişesi, dış yüzeyi iyice kurulandıktan sonra, 0,01 g hassasiyette tartılır (M_3).

5.1.5.2.3.5 Hacim şişesi boşaltılır, iyice temizlenir ve vidalı kapağın tepesine kadar oda sıcaklığındaki suyla doldurulur. Hacim şişesi, dış yüzeyi yeniden kurulandıktan sonra 0,01 g doğrulukla tartılır (M_4).

5.1.5.2.3.6 Yukarıda, Madde 5.1.5.2.3.1 ilâ Madde 5.1.5.2.3.4'te verilen işlemler, aynı zeminden alınan ikinci bir numune üzerinde tekrarlanır ve böylece iki bağıl yoğunluk değeri elde edilmiş olur.

5.1.5.2.4 Hesaplamalar

Zemin danelerinin bağıl yoğunluk G_s değeri aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$G_s = \frac{\rho_L (M_2 - M_1)}{\rho_w (M_4 - M_1) - (M_3 - M_2)}$$

Burada;

- M_1 Hacim şişesinin temiz ve kuru kütlesi, (g),
 - M_2 Hacim şişesi ile zemin kütlesi, (g),
 - M_3 Hacim şişesi, zemin ve suyun kütlesi, (g),
 - M_4 Hacim şişesinin su ile dolu kütlesi, (g)
- dir.

5.1.5.2.5 Sonuçların gösterilmesi

Elde edilen iki değer ortalama zemin danelerinin bağıl yoğunluğu olarak kabul edilir ve 20 °C sıcaklık için en yakın 0,05 hanesine yuvarlatılarak verilir. İki değer arasındaki fark 0,05'ten büyük çıkmışsa, deney yeni numune üzerinde tekrar yapılmalıdır.

5.1.5.2.6 Notlar

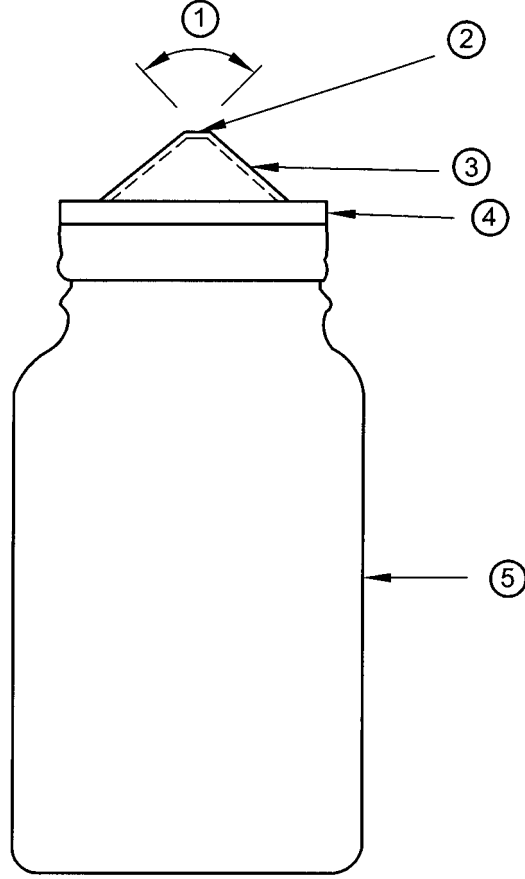
Not 1 - Zeminin etüvde kurutulması sonucunda, hidrasyon suyunda meydana gelecek kayıplardan ötürü danelerin bağıl yoğunluğunda değişme olabileceğinden kuşkulaniyorsa, zemin doğal durumunda denenmeli ve kullanılan numunenin kütlesi deneyin sonunda, zemini, sıcaklığı 80 °C'u aşmayan bir etüvde ve gerekirse 24 saatten daha uzun bir süre kurularak tartılmalıdır. Bağıl yoğunluk deneyi, sıkıştırma deneyinde hava boşlukları yüzdesinin tayini için yapılıyorsa, (105 ± 5) °C sıcaklıklı etüv kullanılabilir.

Not 2 - Numune miktarı: Ortalama numune miktarı olarak (400 - 500) g önerilmiştir. Bu miktardan daha az malzeme kullanıldığında deney sonuçlarının doğruluk derecesi düşmekte, daha çok malzeme kullanıldığında ise numune içindeki havanın tamamı ile çıkarılması güçleşmektedir. Numune miktarı, deneyde kullanılan zemin türüne göre değişir. Kum ve çakıllar için 500 g dolayında, daha ince daneli zeminlerde 400 g kadar numune kullanılabilir.

Not 3 - Vidalı kapağın ayarlanması: Vidalı kapak, kavanozun ağzına kapatıldığında su sızdırmaması için kavanozun ağzı ile kapak arasına lâstik bir conta konur. Deney süresince hacim şişesi hacminin değişmemesi için kapakla kavanozun üzerine, kapalı durumda iken bir doğru üzerine gelen birer işaret konulması ve kavanozun her kapatılışında kapağın, bu işaretler üst üste gelecek biçimde sıkılması gerekir.

Not 4 - Orta ve iri daneli zeminler için bağıl yoğunluk deneyinde Çizelge 9'da verilen form kullanılabilir.

Not 5 - 40 mm'den daha küçük göz açıklıklı elek kullanılması durumunda, deney raporunda belirtilmelidir.

**Açıklamalar**

- 1 (75 - 80)°
- 2 Delik çapı 6 mm olmalıdır
- 3 Piriç konik kapak
- 4 Lâstik conta,
- 5 1000 mL hacimli ağız vidalı cam kavanoz

Şekil 11 - Orta ve iri daneli zeminlerin bağıl yoğunluğunun tayininde kullanılan hacim şişesi

5.1.6 Deney 6: Dane çapı dağılımının bulunması

5.1.6.1 Deney 6 (A): Dane çapı dağılımının bulunması için yıkamalı eleme metodu

5.1.6.1.1 Genel

Bu metot, bir zeminde, ince kum ve daha iri boyuttaki malzemenin dane çapı dağılımının tayini ile ilgili olup, zemindeki kil ve siltin toplam miktarı da (inceler), bu deney sonuçlarından hesaplanabilir.

5.1.6.1.2 Cihazlar

Deney elekleri, göz açıklıkları, 75 mm, 63,5 mm, 50 mm, 40 mm, 25,4 mm, 20 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2 mm, 1,19 mm, 600 µm, 425 µm, 150 µm, 75 µm olan (Madde 5.1.6.1.6 Not 1),

Terazi, 0,5 g doğrulukla tartma yapabilen,

Terazi, 0,01 g doğrulukla tartma yapabilen,

Numune ayırıcı, Şekil 1'de gösterilen tipte çok gözlü,

Etüv, sürekli olarak (105 ± 5) °C sıcaklık sağlayabilen,

Porselen pota, en az altı dane, çapı 150 mm dolayında olan,

Metal tepsi, en az altı adet çapı 300 mm, derinliği 40 mm dolayında olan,

Tepsi, iki veya daha çok sayıda, metal veya plâstikten, su kaçırmaz, geniş (kenar uzunluğu (450 - 900) mm, derinliği (75 - 150) mm, olan kare biçiminde tepsiler uygundur),

veya

Kova, çapı ve derinliği 300 mm dolayında olan,

Bakkal küreği, uzunluğu 200 mm, genişliği 110 mm dolayında olan,

veya

Beher, 500 mL hacimli,

Elek fırçaları, bir tel fırça veya benzeri sert bir fırça,

Sodyum heksametafosfat, analitik saflıkta

Lâstik hortum, iç çapı 6 mm dolayında olan,

Elek sarsma makinesi, (zorunlu değildir).

Ayrıca, su muhtevasının belirlenmesi için Deney 1'de belirtilen cihazlar.

5.1.6.1.3 Deneyin yapılışı

5.1.6.1.3.1 Deneyde kullanılacak eleklerin göz açıklıkları, deneye tâbi tutulan zemindeki dane boyutlarını yeterli bir biçimde kapsamalıdır.

5.1.6.1.3.2 Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna (Madde 4.3) uygun olarak temsilî numune elde edilir ve etüvde kurutulur.

5.1.6.1.3.3 Numune içinde iri zemin daneleri bulunuyorsa, üzerindeki ince malzemeden temizlenene kadar tel ve benzeri sert bir fırça ile fırçalanır. Temizlenen bu iri daneler yumuşak yapılı ise temizleme işlemi sırasında kendi yapılarından parça kopmamasına özen gösterilmelidir.

5.1.6.1.3.4 Etüvde kurumuş malzeme 0,01 g doğrulukla tartılır ve bulunan değer kaydedilir.

5.1.6.1.3.5 Geniş bir tepsi içine serilir veya bir kova içine konur ve su ile örtülür.

5.1.6.1.3.6 Numuneyi örtmekte kullanılan suyun her bir litresi için 2 g sodyum heksametafosfat katılır ve zeminin tamamen ıslanmasını sağlamak için kabin içindekiler iyice karıştırılır.

5.1.6.1.3.7 Numune son bir kez karıştırıldıktan sonra bulanık su, yavaş yavaş 75 µm'lik eleğin üzerine aktarılır. İri danelerin 75 µm'lik eleğe zarar vermemesi için 75 µm'lik eleğin üzerine daha büyük göz açıklıklı ve kalın telli başka bir elek (425 µm veya 2 mm gibi) konularak iri danelerin bu eleğin altına geçmesi önlenir. Eleklerden herhangi birinin aşırı yüklenmemesine dikkat edilmelidir. 75 µm'lik elek üzerinde kalan malzeme hiçbir zaman 150 gramı aşmamalıdır.

5.1.6.1.3.8 Numuneye yeniden su katılır. Bulanık su, 75 µm elekten geçirilip atılır. Bu yıkama işlemi, 75 µm elekten geçen su duru hale gelinceye kadar sürdürülür.

5.1.6.1.3.9 Eleklerden kalan malzemenin tamamı tepsilere veya porselen potalara boşaltılır ve $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sıcaklıklı etüvde kurumaya bırakılır.

5.1.6.1.3.10 Etüvde kurutulan malzeme uygun bir elek serisinden elenir. Eleme mekanik sarsma cihazıyla yapılıyorsa sarsma süresi en az 10 dakika olmalıdır. Her elekte kalan miktar tartılır ve elde edilen kütleler kaydedilir.

5.1.6.1.3.11 75 μm 'lik elekten geçen malzemenin miktarı, deneyde kullanılan eleklerde kalan malzeme kütlelerinin toplamının, Madde 5.1.6.1.3.2'de kaydedilen toplam kütlede çıkarılmasıyla elde edilir.

5.1.6.1.4 Hesaplamalar

5.1.6.1.4.1 Toplam numune kütlesi esas alınarak, her elekte kalan malzeme miktarı, 75 μm elekten ise geçen miktarı hesaplanır ve yüzdeleri bulunur. Başlangıçtaki numune çeyrekleme metoduyla azaltılmışsa, bu hesaplamalarda dikkate alınmalıdır.

5.1.6.1.4.2 Her elekten geçen toplam malzeme yüzdesi hesaplanır. Eleklerde kalan yüzdelerin toplamının 100'den çıkarılmasıyla, her elekten toplam geçen elde edilir.

5.1.6.1.4.3 Dane dağılımı eğrisi çizildikten sonra kritik çaplar D_{10} , D_{30} ve D_{60} eğriden okunur. Efektif çap D_{10} , % 10 düşey eksen değerinden çıkılan yatay doğruların dane çapı dağılımı eğrisini kestiği noktanın yatay eksendeki karşılık değeridir. Benzer biçimde D_{30} ve D_{60} değerlerini bulmak için % geçenin % 30 ve % 60 düşey eksen değerlerinden çıkılan yatay doğruların eğriyi kestiği noktalar bulunduktan sonra dane çapı eksenine çizilen düşey doğrulardan D_{30} ve D_{60} okunur. Buradan dane dağılımı kriterleri:

$$\text{Uniformluk katsayısı, } C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

$$\text{Süreklilik katsayısı, } C_r = \frac{D_{30}^2}{D_{60}D_{10}}$$

eşitlikleriyle hesaplanır.

5.1.6.1.5 Sonuçların gösterimi

Dane çapı dağılımı deneyi için Çizelge 10'da verilen form kullanılabilir ve dane çapı dağılımı eğrisi Çizelge 11'de gösterilen yarı logaritmik grafiğe çizilebilir. Sonuçlar % olarak 0,1 doğrulukla verilmelidir.

5.1.6.1.6 Notlar

Not 1 - Deney raporunda belirtilmek şartıyla, verilenlerin dışında elekte kullanılabilir

Not 2 - Bütün eleklerin her deneyde kullanılması gerekmez

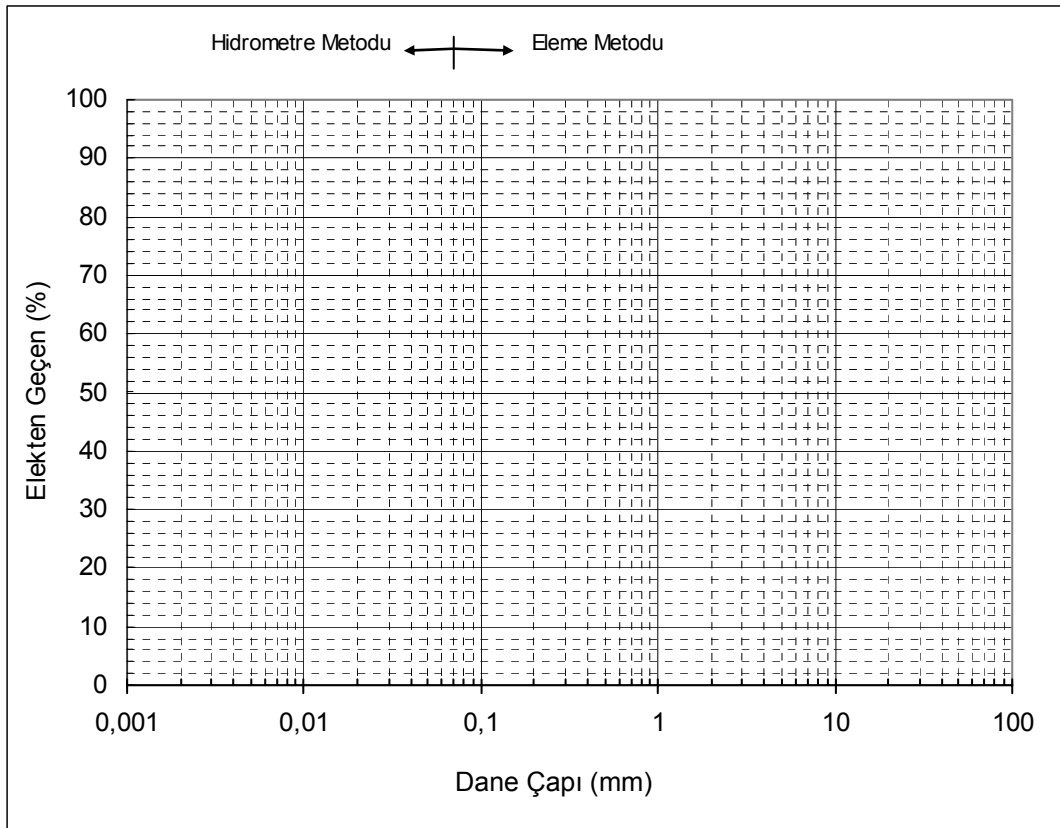
Çizelge 10 - Tane çapı dağılımı deney formu

Lâboratuvar no		Numune kabul tarihi	
Numuneyi gönderen		Deney başlangıç tarihi	
Ait olduğu proje		Deney bitiş tarihi	
Kuyu / sondaj no		Deneyi yapan	
Numune no		Kontrol Eden	
Numune tipi		Alınan kuru numune kütlesi, g	
		Yıkama sonunda kalan kuru numune kütlesi, g	

Elek adı	Elek göz açıklığı mm	Elekte kalan numune g	Kalan %	Toplam kalan %	Toplam geçen %	Düşünceler
75 mm						
40 mm						
20 mm						
9,5 mm						
4,75 mm						
2 mm						
1,19 mm						
600 µm						
300 µm						
150 µm						
75 µm						
Pan						

Çizelge 11 - Dane çapı dağılımı deney sonucu formu

Lâboratuvar no		D10, mm	
Numuneyi gönderen		D30, mm	
Ait olduğu proje		D60, mm	
Kuyu/sondaj no		Uniformluk katsayısı	
Numune no		Süreklilik katsayısı	
Numune cinsi		Moloz yüzdesi	
Deney yöntemi (Islak/kuru)		Çakıl yüzdesi	
Numune kabul tarihi		Kum yüzdesi	
Deney başlangıç tarihi		Silt+kil yüzdesi	
Deney bitiş tarihi			



5.1.6.2 Deney 6 (B): Dane çapı dağılımının bulunması için kuru eleme metodu

5.1.6.2.1 Genel

Bu metot, bir zeminde ince kum ve daha iri boyuttaki danelerin, dane çapı dağılımının hesaplanması ile ilgili olup, sadece içinde silt ve kil oranı çok düşük olan, böylece sonuçların yıkamalı metottan farksız çıkacağı durumlarda uygulanabilir.

5.1.6.2.2 Cihazlar

Deney elekleri, göz açıklıkları, 75 mm, 63,5 mm, 50 mm, 40 mm, 25,4 mm, 20 mm, 12,5 mm, 9,5 mm, 4,75 mm, 2 mm, 1,19 mm, 600 µm, 425 µm, 150 µm, 75 µm olan (Madde 5.1.6.1.6 Not 1),

Terazi, 0,5 g doğrulukla tartma yapabilen,

Terazi, 0,01 g doğrulukla tartma yapabilen,

Numune ayırıcı, Şekil 1'de gösterilen tipte çok gözlü,

Etüv, sürekli olarak (105 ± 5) °C sıcaklık sağlayabilen,

Elek fırçaları, bir tel fırça veya benzeri sert bir fırça,

Metal tepsi, en az altı adet, çapı yaklaşık olarak 300 mm, derinliği yaklaşık olarak 40 mm olan,

Porselen pota, en az altı adet çapı yaklaşık olarak 150 mm dolayında olan,

Havaneli, plâstik bir çekiç ve/veya lâstik kaplı bir havaneli (Şekil 3),

Bakkal küreği, uzunluğu yaklaşık 200 mm, genişliği yaklaşık olarak 110 mm dolayında olan,

Elek sarsma makinesi, (zorunlu değildir).

Ayrıca, su muhtevasının belirlenmesi için Deney 1'de belirtilen cihazlar.

5.1.6.2.3 Deneyin yapılışı

5.1.6.2.3.1 Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna (Madde 4.3) uygun olarak elde edilen numune, etüvde kurutulur ve kuru numune 0,01g doğrulukla tartılır.

5.1.6.2.3.2 En büyük gözlü eleğe bir tava takılır ve numune eleğe boşaltılır.

5.1.6.2.3.3 Elek, içerisindeki malzeme düzensiz olarak yuvarlanacak biçimde hareket ettirilir. Herhangi bir danenin eleğin gözünden geçip geçmediği elle denenebilir, ancak bu işlem sırasında daneyi zorlamamak gerekir. Elekte kalan malzeme bir havan içinde, lâstikle kaplı havaneli ile ovulduktan sonra yeniden elenir. Böylece eleğin üzerinde sadece tek danelerin kalması sağlanmış olur. Elekte kalan miktar tartılır.

5.1.6.2.3.4 Alt kaptaki kalan malzeme, metal bir tepsiye aktarılır ve alt kap, bir sonraki eleğe takılır. Metal tepsideki malzeme eleğe boşaltılır ve Madde 5.1.6.2.3.3'teki işlem tekrarlanır.

5.1.6.2.3.5 Deneyde kullanılan bütün elekler için Madde 5.1.6.2.3.3 ve Madde 5.1.6.2.3.4'teki işlemler tekrarlanır. Elek sarsma makinesinin kullanıldığı durumda bütün elekler aynı çapta ise, elekler üst üste takılıp malzeme bütün eleklerden aynı anda elenebilir. Bu durumda eleminin tamamlanmış olmasına özen gösterilmeli, sarsma işlemi en az 10 dakika süreyle uygulanmalıdır.

5.1.6.2.3.6 Deney sırasında eleklerden herhangi biri aşırı derecede yüklenecek olursa, elekteki malzeme birkaç bölüme ayrılıp elenmelidir.

5.1.6.2.4 Hesaplamalar

Toplam numune kütlesi esas alınarak, her elekte kalan malzemenin yüzdesi hesaplanır. 75 µm elekten geçen yüzde ise, eleklerde kalan yüzdelerin toplamının % 100'den çıkarılmasıyla elde edilir ve alt kaptaki toplanan malzemenin tartılmasıyla denetlenir.

5.1.6.2.5 Sonuçların gösterilmesi

Dane çapı dağılımı deneyi için Çizelge 10'da verilen form kullanılabilir ve dane çapı dağılımı eğrisi Çizelge 11'de gösterilen yarı logaritmik grafiğe çizilebilir. Sonuçlar % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir.

5.1.6.3 Deney 6 (C): İnce daneli zeminlerin dane çapı dağılımının bulunması için pipet metodu

5.1.6.3.1 Genel

Bu metot, bir zeminde, iri kumdan daha ince danelerin dane çapı dağılımının bulunması ile ilgilidir. Deney 6 (A), numunenin 75 µm elekten geçen bölümünün % 10'dan daha az olduğunu göstermişse bu deney uygulanmaz. Ancak numunenin 75 µm'den iri bölümü yıkamalı metotla ayrılmışsa deneyin inceler üzerinde yapılması kabul edilebilir.

5.1.6.3.2 Cihazlar

Numune alma pipeti, Şekil 12'de gösterilen türde, 10 mL kapasiteli değişmez sıcaklık banyosunda tutulan çökeltme tüpü içerisinde, belirli bir derinliğe indirilebilecek biçimde ayarlanabilir,

Cam çökeltme tüpü, hacmi 500 mL, çapı 5 cm, uzunluğu yaklaşık olarak 340 mm, 500 mL'yi gösteren bir bölüntü çizgisi ve birer lâstik tıkaçı olan,

Tartma şişesi, yaklaşık olarak 25 mm çapında, 50 mm boyutunda, ağızlarında taşlanmış birer cam kapak bulunan, her bir tüp için dokuz adet (kütleleri 0,01 g yakınlıkla bilinmelidir),

Su banyosu, (20 ± 2) °C sıcaklık sağlayabilen, çökeltme tüpünü, 500 mL çizgisine kadar örten ve numuneye titreşim geçirmeyen,

Mekanik karıştırıcı, hızı 3000 devir/dakika üstünde, shaft uzunluğu 100 mm'den az olmayan, shaftın ucuna Şekil 13.a'da gösterilen bir rondela takılmış süt-meyve suyu karıştırıcısı ve çelik bardağı ile Şekil 13.b'de kesiti verilen tel kafesi olan bir düzendir. Kap ve kafes, deneyde kullanılan reaktiflerin etkileyemeyeceği bir malzemeden yapılmış olmalıdır. Kap içindeki zemin süspansiyonunun hareketi tam bir karışma sağlamalı, ancak ne danelerin kırılmasına veya kabın dışına sıçrayarak kaybolmasına yol açacak kadar şiddetli, ne de bir kısım malzemenin karışmadan kabın dibine çökmesine neden olacak denli yavaş olmalıdır. Karışmayı en iyi biçimde gerçekleştiren hız, pervane tipine bağlı olduğundan, belirli bir hız koşulu aranmamıştır,

Deney elekleri, göz açıklığı 2 mm, 600 µm (veya 630 µm), 150 µm (veya 200 µm) ve 75 µm ve bir alt tava,

Numune ayırıcı, Şekil 1'de gösterilen türde, göz genişliği 6 mm olan, çok gözlü,

Terazi, 0,01 g doğrulukla tartma yapabilen,

Etüv, sürekli olarak (105 ± 5) °C sıcaklık sağlayabilen,

Kronometre

Desikatör, içerisinde bir miktar susuz silika jeli bulunan, çapı (200 - 250) mm dolayında olan,

Buharlaştırma kabı, çapı 90 mm, yüksekliği 50 cm olan, borosilikat cam veya porselen,

Erlen şişesi, 650 mL veya 1000 mL hacminde ve buna uygun cam bir kapak,

Mezür, 100 mL'lik,

Pipet, 25 mL'lik,

Plâstik yıkama şişesi (piset), damıtık su dolu,

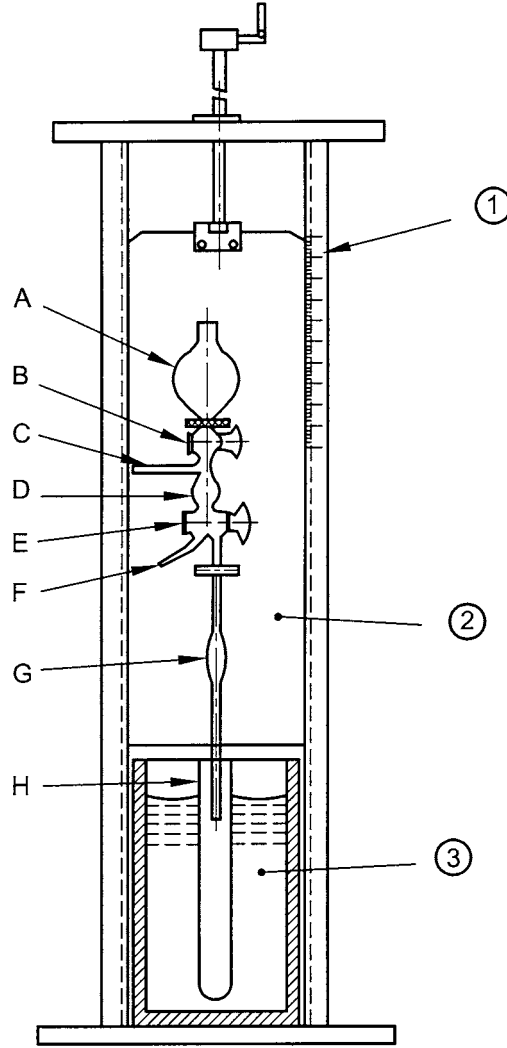
Cam çubuk, uzunluğu (150 - 200) mm, çapı (4 - 5) mm civarında olan, bir ucuna küçük lâstik bir kürek geçirilmiş,

Ayrıca, su muhtevası tayini için Deney 1'de belirtilen cihazlar.

5.1.6.3.3 Reaktifler

Analitik saflıkta olan reaktifler kullanılmalıdır.

- Hidrojen peroksit, 20 hacimlik çözelti: Her bir hacminin çözülmesi sonucunda 100 hacimlik oksijen veren ve 'perhydrol' ticarî adıyla bilinen. 1 hacim % 35'lik hidrojen peroksit çözeltisine yaklaşık olarak 4 hacim damıtık su katılarak elde edilir.
- Sodyum heksametafosfat çözeltisi, 33 g sodyum heksametafosfat (NaPO_3) ve 7 g sodyum karbonat (Na_2CO_3) 1 litre çözelti verecek biçimde damıtık suda çözülür. Bu çözelti dayanıklı değildir ve ortalama olarak ayda bir yeniden hazırlanması gerekir. Karışımın pH değeri 8-9 limiti dışına çıktığında işlevini kaybetmiş sayılır. Hazırlama ve son kullanma tarihleri şişenin üzerine yapıştırılan bir etikete yazılmalıdır.

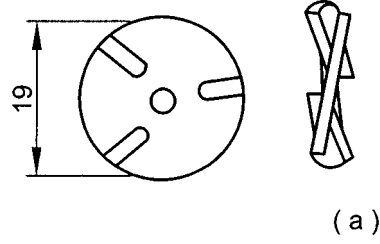
**Açıklamalar**

- 1 cm ve mm bölüntülü cetvel
2 Sürgü levha
3 Değişmez sıcaklık banyosu
A, B 125 mL'lik balon huni ve musluk
C Güvenlik balonu emme tüpü
D Güvenlik balonu
F Boşaltma tüpü
G Numune alma
H Çöktürme tüpü
D, F, G Üç kanallı E musluğuna bağlanmıştır

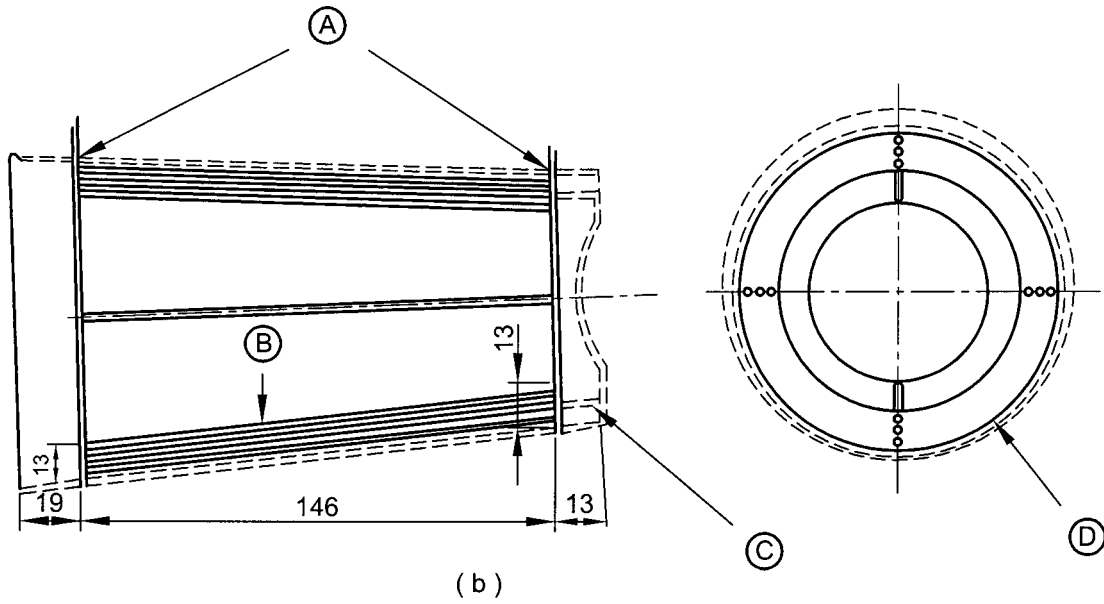
Not - Şekilde gösterilen cihaz yeterlidir, mecburî işlevlerini yerine getirebilen başka bir cihaz da kullanılabilir

Şekil 12 - Numune alma pipetini zemin-su karışımına daldırmakta kullanılan pipet düzeni

Ölçüler mm'dir



a) Karıştırıcı şaftı ucuna takılan pervane



b) Karıştırma kabı için tel kafes

Açıklamalar

- A Destekleyici halkalar kap içerisine sıkıca iletilebilecek dış çapta olmalıdır
- B Üç tel, çapı 1,5 mm, eksenler arası mesafesi 4 mm, 90° aralıkla, 4 takım
- C Kafese destek olması istendiğinde ortadaki teller uzatılabilir
- D Kafes kap içinde dönmemelidir

Not - Şekilde gösterilen cihaz yeterlidir, mecburî işlevlerini yerine getirebilen başka bir cihaz da kullanılabilir

Şekil 13 - Karıştırıcı şaftı ucuna takılan pervane ve karıştırma kabı için tel kafes

5.1.6.3.4 Deneyin yapılışı

5.1.6.3.4.1 Numune alma pipetinin kalibrasyonu

5.1.6.3.4.1.1 Numune alma pipeti iyice temizlenir, kurulanır ve sivri alt ucu damıtık suya batırılır. B musluğu kapatılır, E musluğu açılır (Şekil 12).

5.1.6.3.4.1.2 C'ye takılmış bir hortum yardımıyla pipetin içine, su düzeyi E'nin üstüne yükselene kadar su çekilir. E musluğu kapatılır ve pipet sudan çıkarılır. E'nin üstündeki hücre içine girmiş olan fazla su, F yoluyla küçük bir beher içerisine boşaltılır.

5.1.6.3.4.1.3 Pipetin içindeki ve E musluğundaki su, sabit tartıma getirilmiş cam bir tartım kabına aktarılır. Bu kütleden, pipet ile musluğun iç hacmi (V_p) 0,05 mL yakınlıkla hesaplanır.

5.1.6.3.4.1.4 Yukarıdaki işlemler iki defa daha tekrarlanır ve bulunan üç V_p değerinin ortalaması alınır.

5.1.6.3.4.2 Zemin üzerinde yapılan ön işlemler

5.1.6.3.4.2.1 Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna (Madde 4.3) uygun olarak elde edilen, açıkta kurutulmuş numuneden, yarılama metoduyla her biri yaklaşık olarak 30 g kütlesinde iki numune elde edilir (Madde 5.1.6.3.7 Not 1). Numunelerden birinin su muhtevası Deney 1'de verilen metotla ölçülür.

Diğer numune yarılama metoduyla daha da azaltılır. Deney için gerekli numune miktarı zemin türüne bağlı olarak değişir, bu miktar numunenin kumlu bir zemin için 30 g, killi bir zemin için ise 12 g dolayındadır. Bu numune 0,01 g doğrulukla tartılır (M_a) ve 650 mL'lik erlanın içine konur. Üzerine 50 mL damıtık su eklenir ve toplam hacim yaklaşık olarak 40 mL'ye düşene kadar hafif ateşte kaynatılır.

5.1.6.3.4.2.2 Soğuduktan sonra karışıma 75 mL hidrojen peroksit çözeltisi eklenir ve ağzı cam kapakla örtüldükten sonra ertesi güne bekletilir. Bekletilmiş karışım hafif ateşte ısıtılır. Bu sırada, köpürüp taşmamasına özen göstermeli ve sık sık karıştırılmalıdır. Şiddetli köpürme kesilir kesilmez, karışım kaynatılarak hacmi 30 mL'ye düşürülür. Organik madde yüzdesi yüksek olan zeminlerde yanmanın (oksidasyonun) tamamlanabilmesi için ilâve hidrojen peroksit kullanılması gerekebilir.

5.1.6.3.4.2.3 Borosilikat cam buharlaştırma kabı 0,01 g duyarlıkla tartılır ve konik beherdeki karışım, pisetten damıtık su fışkırtarak, herhangi bir kayba meydan vermeksizin, buharlaştırma kabına aktarılır. Bu işlem sırasında olabildiği kadar az damıtık su kullanılmalıdır. Kap, içindekilerle birlikte etüve konur ve (105 ± 5) °C'ta kurutulur. Bundan sonra kap, içindekilerle birlikte desikatöre konur ve soğumaya bırakılır. Soğuyan numune kapla birlikte, 0,01 g duyarlıkla tartılır ve bu tartı sonucundan kap kütlesinin çıkarılmasıyla numunenin ön işlemler sonundaki kütlesi (M_b) elde edilir.

5.1.6.3.4.2.4 Organik madde yüzdesi düşük olan zeminlerde, Madde 5.1.6.3.4.2.2 ve Madde 5.1.6.3.4.2.3'teki işlemlerin uygulanması gerekmez ve Madde 5.1.6.3.4.3.1'de belirtildiği gibi dağıtma maddesi katılarak deney sürdürülür.

5.1.6.3.4.3 Zemin danelerinin dağıtılması

5.1.6.3.4.3.1 Pipetten, 25 mL sodyum heksametafosfat çözeltisi, 25 mL damıtık suyla birlikte buharlaştırma kabındaki zemine katılır ve bir cam çubukla karıştırılarak numune çözelti haline getirilir. Karışım 10 dakika süreyle hafifçe ısıtılır ve pisetten damıtık su fışkırtılarak, buharlaştırma kabının yüzeyine yapışmış olan zemin parçaları cam çubuğun ucundaki küçük lâstik kürekle kazınır ve karıştırma kabına aktarılır. Bu işlem sırasında kullanılan su miktarı 150 mL'yi aşmamalıdır. Zemin süspansiyonu bundan sonra 15 dakika süreyle mekanik karıştırıcı yardımıyla karıştırılır.

5.1.6.3.4.3.2 Karışım, alt kap üzerine oturtulmuş 75 µm eleğe aktarılır. Karıştırma kabına ve tel kafese yapışan bütün süspansiyon kalıntılarının damıtık suyla yıkanarak tamamen eleğe aktarılmasına özen gösterilmelidir. Eleğe aktarılan zemin, pisetten damıtık su fışkırtılarak yıkanır. Bu işlemler sırasında kullanılan damıtık su miktarı 150 mL'yi aşmamalıdır. Elekten geçen karışım, cam huni yardımıyla bölüntülü çöktürme tüpüne aktarılır ve damıtık su eklenerek sıvının hacmi 500 mL'ye tamamlanır.

5.1.6.3.4.3.3 75 µm'lik eleğin üstünde kalan malzeme bir buharlaştırma kabına aktarılır ve (105 ± 5) °C sıcaklıklı bir etüvde kurutulur. Kuruduktan sonra, bu malzeme 2 mm, 600 µm, 150 µm ve 75 µm eleklerden oluşan elek dizisinden elenir. Eleme sonunda, her elekte kalan malzeme, darası alınmış cam kaplara ayrı ayrı konur ve tartılır. Her elekte kalan malzemenin kütlesi (sırasıyla M_g , M_c , M_m ve M_f) kaydedilir.

5.1.6.3.4.4 Çöktürme

5.1.6.3.4.4.1 500 mL'lik çöktürme tüpüne, pipet yardımıyla 25 mL sodyum heksametafosfat çözeltisi konur ve damıtık su eklenerek 500 mL'ye tamamlanır. Bu çöktürme tüpü, zemin süspansiyonunu içeren diğer çöktürme tüpü ile birlikte 500 mL işaretli bölüntü çizgisine kadar değişmez sıcaklık banyosu içerisine batırılır. Lâstik tıkaçları kapatılan tüp/tüpler, en az 1 saat süreyle veya içlerindeki sıvı banyonun sıcaklığına erişene kadar bekletilir. Bundan sonra tüpler, dışarı alınır, birçok kez baş aşağı çevrilerek iyice çalkalanır ve yeniden banyonun içerisine konur.

5.1.6.3.4.4.2 Zemin süspansiyonunun içinde bulunduğu tüp, yeniden banyonun içerisine yerleştirildiği anda kronometre çalıştırılır. Lâstik tıkaçlar dikkatle çıkarılır ve tüplerin üzerine gevşek olarak bırakılır.

5.1.6.3.4.4.3 Pipet, E musluğu kapalı durumda, alt ucu sıvı yüzeyinden (100 ± 1) mm aşağıda kalacak biçimde, düşey olarak zemin süspansiyonuna daldırılır. Pipet, özenle ve numune alınması gerekli andan 15 saniye önce daldırılmalıdır. Daldırma işleminin tamamlanması yaklaşık olarak 10 saniye sürmelidir. Bundan sonra E musluğu açılır ve pipetin içine numune (M_p 10 mL) alınır. Pipet ve E musluğunun içindeki delik süspansiyon ile dolduktan sonra E musluğu kapatılır. Numune alma işlemi 10 saniyede tamamlanmalıdır. Bu işlem Çizelge 12'de eldeki zeminin silt ve kil danelerinin bağıl yoğunluğu karşısında verilmiş olan numune alma zamanlarında üç defa uygulanır. Çizelge 12'deki numune alma zamanları, süspansiyonun çalkalanmasının sona ermesi anından, numune alma işleminin başlaması anına kadar geçmesi gereken süreyi göstermektedir (Madde 5.1.6.3.7 Not 2). Bundan sonra pipet süspansiyondan çıkarılır. Çıkarma işlemi yaklaşık olarak 10 saniyede tamamlanmalıdır. Numune alma sırasında E musluğunun deliğinden yukarıdaki D hücresine az bir miktar numune çekilmiş olabilir. Bu fazla numune, E musluğunun, D ile F arasında bağlantı sağlayacak biçimde çevirerek, F çıkışından bir beher içerisine akıtılır. Bundan sonra, A balon hunisinden D ve F yoluyla damıtık su akıtılarak buraları zemin danelerinden arınana kadar yıkanmalıdır.

Çizelge 12 - Zemin danelerinin bağıl yoğunluğuna göre numune alma zamanları

Silt ve kil danelerinin bağıl yoğunluğu	Çalkalanmanın sona ermesinden numune alma işlemi başlangıcına kadar geçen süre					
	Birinci numune		İkinci numune		Üçüncü numune	
	Dakika	Saniye	Dakika	Saniye	Saat	Dakika
2,50	4	30	50	30	7	35
2,55	4	20	49	00	7	21
2,60	4	10	47	30	7	07
2,65	4	05	46	00	6	54
2,70	4	00	44	30	6	42
2,75	3	50	43	30	6	30
2,80	3	40	42	00	6	20
2,85	3	35	41	00	6	10
2,90	3	30	40	00	6	00
2,95	3	25	39	00	5	50
3,00	3	20	38	00	5	41
3,05	3	15	37	00	5	33
3,10	3	10	36	00	5	25
3,15	3	05	35	00	5	18
3,20	3	00	34	30	5	10

5.1.6.3.4.4.4 Kütlesi alınmış bir tartı şişesi, pipetin ucu altına konur ve E musluğu açılarak pipetteki numunenin şişeye akması sağlanır. Pipetin iç çeperine yapışıp kalan süspansiyon parçaları, A balon hunisinden damıtık suyun B, D ve E yoluyla pipete akıtılmasıyla tartı şişesine aktarılır. Tartı şişesi, (105 ± 5) °C sıcaklıklı etüve konarak, içerisindeki numune kuruyana kadar bekletilir. Desikatörde soğutulduktan sonra, şişe numunelerle birlikte 0,01 g doğrulukla tartılır ve alınan süspansiyon numunedeki katı madde miktarı belirlenmiş olur (değişik numune alma zamanları için sırasıyla M_1, M_2, M_3).

5.1.6.3.4.4.5 Yukarıda anlatılan numune alma işlemlerinin herhangi ikisi arasında, sodyum heksametafosfat çözeltisi içeren çöktürme tüpünden de bir numune alınır. Bu çözelti örneği Madde 5.1.6.3.4.4.3 ve Madde 5.1.6.3.4.4.4'te belirtilen metotla alınır, ancak numunenin belirli bir süre sonunda alınması gerekmediği gibi, numune alma derinliği de önemli değildir. Alınan numune içerisindeki katı madde miktarı ölçülür (M_4).

5.1.6.3.5 Hesaplamalar

5.1.6.3.5.1 Ön işlemler sırasında meydana gelen kütle kaybı

Ön işlemler sırasında meydana gelen kütle kaybı yüzdesi (Y), kullanılan açıkta kurutulmuş zeminin kütlesi, açıkta kuruma sonundaki su muhtevası ve zeminin ön işlemler sonundaki kütlesinden aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$Y = 100 - \frac{M_b(100 + w_a)}{M_a} \quad (\%)$$

Burada;

M_a Açıkta kurutulmuş zemin kütlesi, (g),
 w_a Açıkta kurumuş zeminin su muhtevası, (%),
 M_b Ön işlemler sonucu numune kütlesi, (g)
 dir

Ön işlemler sonundaki zemin kütlesi Madde 5.1.6.3.5.2 ve Madde 5.1.6.3.5.3'teki yüzdelerin hesaplanmasında kullanılır.

5.1.6.3.5.2 Elenen bölümün hesapları

5.1.6.3.5.2.1 Deney başlangıcındaki numunenin 2 mm'lik elekte kalan bölümünün yüzdesi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$2 \text{ mm'den iri zemin yüzdesi} = \frac{M_g}{M_b} \times 100(\%)$$

5.1.6.3.5.2.2 Deney başlangıcındaki numunenin, 600 µm elekte kalan bölümünün yüzdesi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$2 \text{ mm} - 600 \text{ µm arasındaki zemin yüzdesi} = \frac{M_c}{M_b} \times 100(\%)$$

5.1.6.3.5.2.3 Deney başlangıcındaki numunenin, 150 µm elekte kalan bölümünün yüzdesi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$600 \text{ µm} - 150 \text{ µm arasındaki zemin yüzdesi} = \frac{M_m}{M_b} \times 100(\%)$$

5.1.6.3.5.2.4 Deney başlangıcındaki numunenin, 75 µm elekte kalan bölümünün yüzdesi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$150 \text{ µm} - 75 \text{ µm arasındaki zemin yüzdesi} = \frac{M_f}{M_b} \times 100(\%)$$

5.1.6.3.5.3 Çöktürmeye tâbi tutulan bölüm için hesaplama

5.1.6.3.5.3.1 500 mL karışımda her bir numune alma zamanına karşılık olan katı madde kütlesi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\frac{(M_1 \text{ veya } M_2) \text{ veya } (M_3 - M_4)}{V_p} \times 500 \text{ (g)}$$

Burada;

- M_1 Birinci numune almada 500 mL içindeki katı madde kütlesi,
 M_2 İkinci numune almada 500 mL içindeki katı madde kütlesi,
 M_3 Üçüncü numune almada 500 mL içindeki katı madde kütlesi,
 M_4 500 mL içindeki sodyum heksametafosfat kütlesi,
 V_p Pipetin ölçülmüş hacmi (mL)
dir.

5.1.6.3.5.3.2 Numunenin deney başlangıcındaki silt oranı aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\% \text{ Silt (75 } \mu\text{m} - 2 \mu\text{m)} = \frac{M_1 - M_2}{M_b} \times 100(\%)$$

5.1.6.3.5.3.3 Numunenin deney başlangıcındaki kil oranı aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\% \text{ Kil oranı (2 } \mu\text{m'den ince)} = \frac{M_3 - M_4}{M_b} \times 100(\%)$$

5.1.6.3.6 Sonuçların gösterilmesi

5.1.6.3.6.1 Deney sonuçları Çizelge 11'de verilen yarı logaritmik bir grafik kâğıdı üzerine işaretlenir (Madde 5.1.6.3.7 Not 3) veya Madde 0,2'de tanımlanmış olan değişik dane çapı gruplarına giren miktarlar, yarı logaritmik grafikten okunup, % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak çizelgede gösterilir.

5.1.6.3.6.2 Ölçümlerde ön işlemler sırasında meydana gelen kütle kaybı, % 1 yakınlıkla verilir.

5.1.6.3.6.3 Pipet metodunun kullanıldığı belirtilmelidir.

5.1.6.3.7 Notlar

Not 1 - Tropik bölgelerdeki bazı zeminlerde, 4,75 mm'lik elekten geçmesi gereken ince danelerin elekte kalan malzemeden temizlenmesinde güçlüklerle karşılaşılabilir. Bu gibi durumlarda, Deney 6 (A)'da olduğu gibi, dağıtma maddesi kullanmak ve 4,75 mm'lik elek üstünde kalan malzemeyi yıkayarak elemek gerekebilir. Elek altına geçen karışımın kurutulup, ön işlemlerin uygulanacağı zemine katılması gerektiğinden, kurutulacak karışımı mümkün olduğu kadar az tutmak amacıyla zemin, ilk olarak kuru durumda elenmelidir.

Not 2 - Çöktürme süresi ve numune alma derinliği: dane çapı dağılımı eğrisinin biçiminin belirlenebilmesi için uygun çöktürme süreleri sonunda en az üç numune alınması gereklidir. Madde 5.1.6.3.4.4.3'teki Çizelge 12'de verilen zamanlar 20 μ m, 6 μ m ve 2 μ m'lik eşdeğer dane çaplarına karşılıktır. Çökeltme analizinin uygulanacağı numunelerden her birinin dane bağıl yoğunluğunu bulmak gerekmez. Aynı yerden veya belirli bir yerdeki aynı tür zeminler için elde edilen numuneler için ortalama bir değer kullanmak, sonuçlarda önemli bir hata yaratmaz. Ancak, kullanılan değer, bütün numunenin değil, sadece silt ve kil danelerinin bağıl yoğunluğu olması zorunludur.

Not 3 - Numune üzerinde ayrıca iri danelerin analizi de yapılmışsa, numunenin tamamının analiz sonucu aynı grafik üzerinde gösterilmelidir.

Not 4 - Pipet metodu deneyi için Çizelge 13'te verilen form kullanılabilir.

Çizelge 13 - Pipet metodu için deney formu

Proje						
Numunenin alındığı yer						
Numune tanımı		Deneyi yapan				
Deney özelliği		Tarih				
Sondaj no		G _s				
		2 mm'lik elekte kalan numunenin tanımı				
Zemin numunesinin numarası						
Açıkta kurutulmuş zemin su muhtevası						
Kap no						
Yaş numune + kap kütlesi, g						
Kuru numune + kap kütlesi, g						
Kap kütlesi, g						
Kuru numune kütlesi, g						
Su kütlesi g						
Açıkta kurutulmuş numunenin su muhtevası, %						
Ön işlemler sırasındaki kütle kaybı						
Kap no						
Açıkta kurutulmuş numune + kap kütlesi, g						
Kap kütlesi, g						
Açıkta kurutulmuş numunenin ön işlemler öncesi kütlesi, M _a , g						
Kap no						
Etüvde kurutulmuş numune + kap kütlesi, g						
Kap kütlesi, g						
Etüvde kurutulmuş numunenin ön işlemler sonrası kütlesi, M _b , g						
Ön işlem kaybı $100 \times M_b \frac{(100 + M_a)}{M_a}$						
2 mm'lik elek üstünde kalan zemin + kap kütlesi, g						
Kap kütlesi, g						
2 mm'lik elek üstünde kalan zemin kütlesi, M _g , g						
Numunede 2 mm'den iri malzeme yüzdesi (100 M _g /M _b)						
600 µm elek üstünde kalan zemin + kap kütlesi, g						
Kap kütlesi, g						
600 µm elek üstünde kalan zemin kütlesi, M _c , g						
2 mm - 600 µm mm arasındaki zemin yüzdesi (100 M _c /M _b)						
150 µm elek üstünde kalan zemin + kap kütlesi, g						
Kap kütlesi, g						
150 µm elek üstünde kalan zemin kütlesi, M _m , g						
600 µm - 150 µm arasındaki zemin yüzdesi (100M _m /M _b)						
75 µm elek üstünde kalan zemin + kap kütlesi, g						
Kap kütlesi, g						
75 µm elek üstünde kalan zemin kütlesi, M _f , g						
2 mm - 600 µm arasındaki zemin yüzdesi (100 M _f /M _b)						
Toplam kütle M _g + M _c + M _m + M _f , g						

Çizelge 13 - Pipet metodu için deney formu (devam)

Su banyosunun sıcaklığı						
Pipet hacmi (V_P) ml						
1. pipet numunesinin alınma zamanı	dakika	saniye				
2. pipet numunesinin alınma zamanı	dakika	saniye				
3. pipet numunesinin alınma zamanı	dakika	saniye				
Zemin numunesinin numarası						
Tartı şişesi no						
1. pipet numunesi + şişe kütlesi, g						
Şişe kütlesi, g						
V_P mL süspansiyondaki katı madde kütlesi, M_1 , g						
500 mL süspansiyondaki katı madde kütlesi, M_1 , g						
Tartı şişesi no						
2. pipet numunesi + şişe kütlesi, g						
Şişe kütlesi, g						
V_P mL süspansiyondaki katı madde kütlesi, M_2 , g						
500 mL süspansiyondaki katı madde kütlesi, M_2 , g						
Tartı şişesi no						
3. pipet numunesi + şişe kütlesi, g						
Şişe kütlesi, g						
V_P mL süspansiyondaki katı madde kütlesi, M_3 , g						
500 mL süspansiyondaki katı madde kütlesi, M_3 , g						
Tartı şişesi no						
Sodyum metafosfat + şişe kütlesi, g						
Şişe kütlesi, g						
V_P mL süspansiyondaki sodyum metafosfat kütlesi, M_4 , g						
500 mL süspansiyondaki sodyum metafosfat kütlesi, M_4 , g						
Orta silt M_1-M_2 g						
İnce silt M_2-M_3 , g						
Kil M_3-M_4 , g						
75 μ m - 150 μ m arasındaki numune miktarı [$M_b - (M_g + M_c + M_m + M_f + M_1 - M_4)$], g						
2 mm'lik elek üzerinde kalan (2 mm'den büyük) zemin yüzdesi, %						
2 mm - 600 μ m arasındaki zemin yüzdesi, %						
600 μ m - 150 μ m arasındaki zemin yüzdesi, %						
150 μ m - 75 μ m arasındaki zemin yüzdesi, %						
75 μ m - 2 μ m arasındaki zemin yüzdesi, %						
$100 \left[\frac{M_b - (M_g + M_c + M_m + M_f + M_1 - M_4)}{M_b} \right]$, %						
Kil oranı (2 μ m'den ince) = $100(M_3-M_4)/M_b$, %						

5.1.6.4 Deney 6 (D): İnce daneli zeminlerin dane çapı dağılımının bulunması için hidrometre metodu

5.1.6.4.1 Genel

Bu metot, bir zeminde, iri kum boyutunda ve daha ince danelerin dane çapı dağılımının bulunması ile ilgilidir. Deney 6 (A), numunenin 75 µm'lik elekten geçen bölümünün % 10'dan daha az olduğunu gösterdiği durumlarda, burada anlatılan biçimiyle bu deney uygulanamaz.

Numune 75 µm'lik elekten elenmesi durumunda, deney, elde edilen bu numune üzerinde de yapılabilir.

5.1.6.4.2 Cihazlar

Hidrometre, Şekil 14'de gösterilen ve aşağıdaki şartları sağlayan:

- Gövde ve sap, kusursuz camdan yapılmış olmalıdır. Bu cam, kimyevi etkilere dayanıklı ve iyi tavllanmış olmalıdır.
- Denge kütlesi olarak katı bir madde kullanıldığında, bu madde hidrometrenin dibine, 80 °C'a kadar ısıtıldığı zaman yumuşamayan bir yapıştırıcı ile tespit edilmelidir. Denge kütlesi, olarak cıva kullanılıyorsa bu, gövdenin dip kesimine sınırlandırılmalıdır.
- Bölüntülerle rakamlar, üstün nitelikte, düz yüzeyli bir kâğıt üzerine siyah mürekkeple temiz olarak işaretlenmelidir.
- Sap ve gövde orta eksene göre simetrik, kesitleri ise dairesel olmalıdır. Kesitlerde, temizleme ve kurutmaya engel olacak veya hava kabarcıklarının takılıp kalmasına neden olabilecek ani girinti veya çıkıntılar bulunmamalıdır. Hidrometre, kapasitesi içindeki sıvılarda, sapın düşeyle yaptığı açı 1,5 dereceyi aşmayacağı biçimde yüzmelidir.
- Bölüntü çizgileri ince ve belirgin kalınlıkta olmalıdır. Bölüntülü cetvel büyük veya eğik olmamalı ve bölüntü çizgileri hidrometrenin eksenine dik olmalıdır.
- Bölüntü çizgileri 0,0005 g/mL'lik aralıklı olmalı, 0,0005'leri gösteren bölüntüler kısa çizgilerle gösterilmeli, her onuncu bölüntüyü gösteren çizgi uzun olmalıdır. Bu sonuncu bölüntü çizgisinin yanına, ilgili değer yazılmalıdır. Böylece düzenlenmiş bölüntü çizgileri Şekil 14'de gösterilmiştir.
- Bölüntüler 20 °C'ta ki birim kütle (g/mL) olarak gösterilmelidir. Bazı hidrometreler, zemin daneleri için belirli bir bağıl yoğunluk (G_{sh}) kabulüyle bir litre süspansiyondaki zemin miktarını gram olarak gösterecek biçimde kalibre edilmiştir. Bu tür hidrometreler kullanıldığında, alınan okumaları, şu eşitlikle g/mL'ye çevirmek gerekir.

$$R_h = R \left(\frac{G_{sh} - 1}{G_{sh}} \right)$$

Burada;

R Bir litre süspansiyondaki zemin miktarını gram olarak gösteren türdeki hidrometrede, menisküs düzeltmesinden sonra elde edilen okuma,

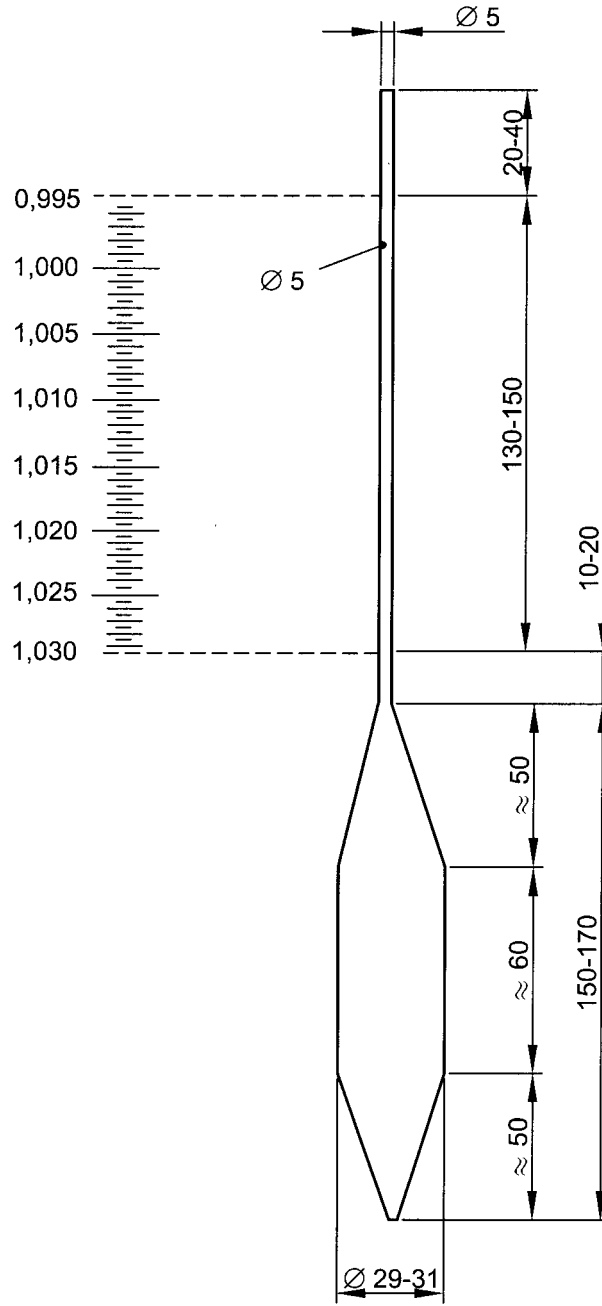
G_{sh} Bu hidrometrenin kalibrasyonu için kabul edilen dane bağıl yoğunluğu,

R_h g/mL olarak kalibre edilmiş bir hidrometre kullanılmış olsa, menisküs düzeltmesinden sonra elde edilecek okuma

dır.

- Hidrometrenin ayarlanması, yüzey gerilimi 55 dyne/cm olan bir sıvıya göre yapılmalıdır.
- Hidrometre üzerinde en büyük bölüntü hatası $\pm 0,0005$ g/mL olmalıdır.
- Her hidrometrenin sap veya gövde kesimi içerisine, bölüntü veya rakamları etkilemeyecek biçimde, bölüntülerin esası, yani "20 °C'ta g/mL" okunaklı olarak yazılmalıdır.

Ölçüler mm'dir



Şekil 14 - İnce daneli zeminlerde dane çapı dağılımının bulunması için kullanılan hidrometre (bölüntüler 20 °C'ta g/mL esasına göre)

Mezür (ölçme silindiri), 1000 mL kapasiteli, çapı 55 mm, boyu 300 mm olan,
Termometre, 0 °C ilâ 50 °C aralığını kapsayan 0,5°C hassasiyetli,
Mekanik karıştırıcı, motor hızı 3000 devir/dakika üstünde, şaft uzunluğu 100 mm'den az olmayan şaftın ucuna Şekil 13.a'da gösterilen bir rondela takılmış süt-meyve karıştırıcısı ve çelik bardağı ile bunlara uygun Şekil 13.b'de kesiti verilen tel kafesi olan, kap ve kafes, deneyde kullanılan reaktiflerin etkilemeyeceği bir malzemeden yapılmış olmalıdır. Kap içindeki zemin karışımının hareketi, tam olmalı, ancak ne danelerin kırılmasına veya kabin dışına sıçrayarak kaybolmasına yol açacak kadar şiddetli ne de bir kısım malzemenin karışmadan kabin dibine çökmesine neden olacak kadar yavaş olmalıdır. Karışmayı en iyi biçimde gerçekleştiren hız, pervane tipine bağlı olduğundan belirli bir hız koşulu aranmamıştır.
Deney elekleri, 2 mm, 600 µm (veya 630 µm), 200 µm (veya 150 µm), 75 µm ve tavası,
Terazi, 0,01 g doğrulukla tartma yapabilen,
Etüv, sürekli olarak (105 ± 5) °C sıcaklık sağlayabilen,
Kronometre
Desikatör, içerisinde bir miktar susuz silika jeli bulunan, çapı 20 cm-25 cm olan,
Cetvel, mm bölüntülü,
Pota, dört adet porselenden, çapı 150 mm dolayında olan,
Konik bir şişe
veya
Konik bir beher (erlen), 1000 mL kapasiteli, geniş ağızlı,
Piset, damıtık su dolu, plâstikten,
Cam çubuk, uzunluğu 150 mm, çapı 5 mm civarında olan,
Su banyosu, bu deneyde kullanılan cihazları içine alabilecek büyüklükte, (20 ± 1) °C sıcaklık sağlayabilen, numuneye titreşim geçirmeyen (mecburî değildir),
Mekanik çalkalayıcı, zemin-su karışımını içeren mezürün 0-180° hareketini sağlayan (mecburî değildir).

Ayrıca, su muhtevası tayini için Deney 1'de belirtilen cihazlar.

5.1.6.4.3 Reaktifler

Analizde kullanılacak saflıkta olan reaktifler kullanılmalıdır:

5.1.6.4.3.1 Hidrojen peroksit, 20 hacimlik çözelti: her bir hacminin çözülmesi sonucunda 100 hacimlik oksijen veren ve perhidrol ticarî adıyla bilinen, yaklaşık olarak 1 hacim % 30'luk hidrojen peroksit çözeltisine, 4 hacim damıtık su katılarak elde edilir.

5.1.6.4.3.2 Sodyum heksametafosfat çözeltisi: 40 g sodyum heksametafosfat (NaPO₃) 1 L çözelti verecek biçimde damıtık suda çözülür. Bu çözelti dayanıklı değildir ve ortalama olarak ayda bir yeniden hazırlanması gerekir. Karışımın pH değeri 8-9 dışına çıkmamalıdır. Hazırlama ve son kullanma tarihleri şişenin üzerine yapıştırılan bir etikete yazılmalıdır.

5.1.6.4.4 Hidrometrenin kalibrasyonu

5.1.6.4.4.1 Hacim

Hidrometre gövdesinin hacmi (V_h) aşağıda verilen metotlardan biri yardımıyla ölçülür.

- Yerini tuttuğu suyun hacminden**: 1000 mL'lik mezüre yaklaşık olarak 800 mL hacminde damıtık su konur. Suyun düzeyi okunur ve kaydedilir. Hidrometre mezürdeki suyun içine daldırılır ve su düzeyi yeniden okunup kaydedilir. İki okuma arasındaki fark, hidrometre gövdesinin ve sapın suya batmış kısmının mL olarak toplam hacmini verir. Sapın batmış kesiminin elde edilen toplam hacme katkısı önemsiz olduğundan, elde edilen değer, hidrometre gövdesinin hacmi (V_h) olarak kabul edilir.
- Hidrometrenin kütesinden**: Hidrometre 0,1 g duyarlılıkla tartılır. Kütlenin gram olarak sayısal değeri, hidrometre gövdesinin ve sapın 1,000 işaret çizgisi altında kalan kesiminin mL olarak toplam hacmini verir. Sapın bu kesiminin, elde edilen toplam hacme katkısı önemsiz olduğundan, bulunan değer, hidrometre gövdesinin hacmi (V_h) olarak kabul edilir.

5.1.6.4.4.2 Kalibrasyon

5.1.6.4.4.2.1 İçinde hidrometrenin kullanılacağı 1000 mL'lik mezürün kesit alanı, iki ölçek çizgisinin (örneğin 100 ve 900 çizgileri) arasındaki uzaklığın ölçülmesiyle hesaplanır. Kesit alanı (A), ölçüm yapılan iki çizgi arasındaki hacmin, bu çizgiler arasında cm olarak ölçülen uzaklığa bölümüne eşittir. Kesit alanı, mezürün tüm boyunca değişmemelidir.

5.1.6.4.4.2.2 Hidrometrenin sapı üzerindeki en alt bölüntü çizgisi ile diğer ana bölüntü çizgileri arasındaki uzaklıklar (R_h) ölçülüp kaydedilir.

5.1.6.4.4.2.3 Hidrometrenin boyun noktasının en yakın bölüntü çizgisine olan uzaklığı ölçülüp kaydedilir.

5.1.6.4.4.2.4 R_h okumasıyla ilgili H_l uzaklığı, Madde 5.1.6.4.4.2.2 ve Madde 5.1.6.4.4.2.3'te ölçülen uzaklıkların toplamına eşittir.

5.1.6.4.4.2.5 Gövdenin boyun noktasından alt ucuna kadar olan uzaklık (h) ölçülür ve gövdenin boyu olarak kaydedilir (Not 1).

5.1.6.4.4.2.6 R_h ana bölüntü çizgilerine karşılık olan H_R efektif derinlikleri aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$H_R = H_l + \frac{1}{2} \left(h - \frac{V_h}{A} \right)$$

Burada;

H_l Gövdenin boyun noktası ile R_h bölüntü çizgisi arasındaki uzaklık, (cm),

h Gövdenin boyun noktası ile hacim merkezi arasındaki uzaklığın iki katı, (cm),

V_h Hidrometre gövdesinin hacmi, (mL),

A Mezürün kesit alanı, (cm²)

dır.

5.1.6.4.4.2.7 H_R ve R_h arasındaki bağıntıyı gösteren noktalar işaretlenir. Noktalarda geçen eğrinin (veya doğrunun) eşitliği hidrometrenin kalibrasyon eşitliğidir.

5.1.6.4.4.3 Menisküs düzeltmesi

5.1.6.4.4.3.1 Sapı temizlenmiş hidrometre, içinde 700 mL kadar su bulunan 1000 mL'lik mezürün içine daldırılır.

5.1.6.4.4.3.2 Su düzeyinin hafifçe altından bakıldığında, elips biçiminde görünen su yüzeyi, düz bir çizgi gibi görünene kadar, göz yükseltilir, bu çizginin hidrometre ölçeğini kestiği nokta tespit edilir.

5.1.6.4.4.3.3 Su düzeyinin hafifçe üstünden bakılarak menisküsün üst sınırının hidrometre ölçeğini kestiği nokta saptanır.

5.1.6.4.4.3.4 Madde 5.1.6.4.4.3.2 ve Madde 5.1.6.4.4.3.3'te alınan okumalar arasındaki fark, menisküs düzeltmesi (C_m) olarak kaydedilir.

5.1.6.4.5 Deneyin yapılışı

5.1.6.4.5.1 Zemin üzerinde yapılan ön işlemler

5.1.6.4.5.1.1 Örselenmiş numunelerin deneye hazırlanması metoduna (Madde 4.3) uygun olarak elde edilen havada kurutulmuş numuneden, yarılama metoduyla, her biri yaklaşık olarak 50 g - 100 g kütlesinde iki numune elde edilir. Deney için gerekli zemin miktarı zeminin türüne bağlı olarak değişir; örneğin, killi zeminler için 50 g kumlu zeminler için 100 g numune kullanılır. Numunelerden birinin su muhtevası (w) Deney 1'deki metotla ölçülür.

5.1.6.4.5.1.2 Diğer numune, 0,01 g doğrulukla tartılır (M_a) ve geniş ağızlı konik şişeye konur. Üzerine 150 mL hidrojen peroksit çözeltisi eklenir, birkaç dakika süreyle cam çubukla hafifçe karıştırılır ve şişenin ağzı cam kapakla örtüldükten sonra ertesi güne kadar bekletilir. Bekletilmiş karışım hafif ateşte ısıtılır. Bu sırada, köpürüp taşma olmamasına özen gösterilmeli ve karışım sık sık karıştırılmalıdır. Şiddetli köpürme kesilir kesilmez, karışım kaynatılarak hacmi 50 mL'ye düşürülür. Organik madde yüzdesi yüksek olan zeminlerde oksidasyonun tamamlanabilmesi için ek hidrojen peroksit kullanılması gerekebilir.

5.1.6.4.5.1.3 Porselen pota 0,01 g duyarlılıkla tartılır ve konik şişedeki karışım bu potaya aktarılır. Bu işlem sırasında olabildiğinde az damıtık su kullanılmalıdır. Pota, içindekilerle birlikte etüve konur ve $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ 'ta kurutulur. Bundan sonra pota, içindekilerle birlikte desikatöre konur ve soğumaya bırakılır. Soğuyan numune, pota ile birlikte 0,01 g duyarlılıkla tartılır. Bu tartı sonucundan kap kütlesinin çıkarılmasıyla numunenin ön işlemler sonundaki kütlesi (M_b) elde edilir.

5.1.6.4.5.1.4 Organik madde yüzdesi düşük (% 2'den az olan) zeminlerde, Madde 5.1.6.4.5.1.2 ve Madde 5.1.6.4.5.1.3'teki işlemlerin uygulanması gerekmez ve Madde 5.1.6.4.5.1.1'de elde edilen numunelerin diğerine doğrudan Madde 5.1.6.4.5.2.1'de belirtildiği gibi dağıtma maddesi katılarak deney sürdürülür.

5.1.6.4.5.2 Zemin danelerinin dağıtılması

5.1.6.4.5.2.1 Porselen potanın içindeki numuneye 100 mL sodyum heksametafosfat çözeltisi katılır ve karışım hafif ateşte 10 dakika kadar ısıtılır. Bazı zeminde, dağıtıcı etkili olmadığından karışımda floklarına sonucu dağıtma sağlanamayabilir. Bu durumda dağıtıcı miktarını arttırmak gerekebilir.

5.1.6.4.5.2.2 Karışım, pisetten damıtık su fişkırtılarak, içinde tel kafes bulunan karıştırma kabına aktarılır. Bu işlem sırasında kullanılan su miktarı 150 mL'yi aşmamalıdır. Zemin süspansiyonu bundan sonra 15 dakika süreyle mekanik karıştırıcı yardımıyla karıştırılır.

5.1.6.4.5.2.3 Süspansiyon vakit geçirmeden, alt kap üzerine oturtulmuş 75 μm 'lik eleğe aktarılır. Karıştırma kabına ve tel kafese yapışmış bütün süspansiyon kalıntılarının damıtık su ile yıkanarak tamamen eleğe aktarılmasına özen gösterilmelidir. Eleğe aktarılan zemin, pisetten damıtık su fişkırtılarak yıkanır. Bu işlemler sırasında kullanılan damıtık suyun miktarı 500 mL'yi aşmamalıdır. 75 μm 'lik elekten geçmiş olan süspansiyon, 1000 mL'lik mezüre aktarılır ve damıtık su eklenerek tam 1000 mL'ye tamamlanır. Bu süspansiyon, bundan sonra, aşağıda anlatılan çöktürme analizi için kullanılır.

5.1.6.4.5.2.4 75 μm 'lik eleğin üzerinde kalan malzeme, bir porselen potaya aktarılır ve $(105 \pm 5) ^\circ\text{C}$ sıcaklıklı bir etüvede kurutulur. Kuruduktan sonra, bu malzeme 4,75 mm'lik, 600 μm , 200 μm ve 75 μm 'lik eleklerden oluşan elek dizisinden elenir. Eleme sonunda, bu elekler üzerinde kalan malzeme ayrı ayrı tartılır ve kütleleri (sırasıyla M_g , M_c , M_m ve M_f) kaydedilir.

5.1.6.4.5.3 Çökeltme

5.1.6.4.5.3.1 Mezürün ağzı lâstik bir tıpa ile kapatılır ve homojen bir süspansiyon oluşana kadar sert bir biçimde çalkalanır, en sonunda baş aşağı çevrilir. Çalkalama işlemi durdurulur durdurulmaz mezür, düz bir yüzey üzerine oturtulur ve kronometre çalıştırılır. Hidrometre yüzme durumunun az altına gelene kadar süspansiyona daldırılır ve serbestçe yüzmeye bırakılır. Kronometreye bakılarak 0,5, 1, 2 ve 4'üncü dakikalarda hidrometre okumaları alınır. Bundan sonra hidrometre, yavaşça süspansiyondan çıkarılır, damıtık suyla yıkanır ve zemin süspansiyonu ile aynı sıcaklıkta tutulan damıtık su dolu diğer bir mezür içinde bekletilir.

5.1.6.4.5.3.2 Kronometre 8. dakikaya yaklaşırken (yaklaşık olarak 15 saniye kala) hidrometre yeniden süspansiyona daldırılır ve hidrometre okuması alınıp kaydedilir. Okuma alındıktan sonra hidrometre çıkarılır, yıkanır ve damıtık su içine konur. Aynı biçimde, 15, 30, 60, 120, 480 dakikalarda hidrometre okumaları alınır. Bundan sonra, iki gün süreyle günde 1 veya 2 kez okuma alınır ve bu okumalara karşılık olan çökme süreleri tam olarak kaydedilir. Hidrometrenin her okumadan önce süspansiyona daldırılması ve okumadan sonra da çıkarılması sırasında süspansiyonun çalkalatmamasına özen gösterilmelidir. Hidrometrenin süspansiyona daldırılması ve süspansiyondan alınması işlemlerinin her biri, 10 saniyelik bir süre içinde yapılmalıdır. Süspansiyonun titreşim etkisine uğraması önlenmelidir.

5.1.6.4.5.3.3 Su banyosunun kullanılmadığı deneylerde süspansiyonun sıcaklığı, ilk 15 dakikada bir kez ve daha sonraki her okumadan sonra ölçülüp kaydedilir. Sıcaklık en az 0,5 °C duyarlılıkla okunmalıdır. Mezürün asimetrik olarak ısı alması ya da kaybetmesi önlenmelidir. Ayrıca, ortam sıcaklığının 2 °C'tan fazla değişmemesi deneyin sonuçlarını daha güvenilir hale getirir.

5.1.6.4.5.3.4 Dağıtma maddesi katılmasının gerektirdiği düzeltme, X, tartılmış bir terazi şişesine tam 50 mL dağıtma maddesi çözeltisi konup çözeltinin (105 ± 5) °C sıcaklıklı etüvde buharlaştırılması sonucu elde edilen dağıtma maddesinin kütlesi şu eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$X = 2M_d$$

Bu düzeltme, sıcaklık derecesinden bağımsız olup, sodyum heksametafosfat çözeltisi Madde 5.1.6.4.3.2'deki biçimde hazırlanmışsa, 4 civarında olur.

5.1.6.4.6 Hesaplamalar

5.1.6.4.6.1 Ön işlemler sırasında meydana gelen kütle kaybı

Ön işlemler sırasında numunede meydana gelen kütle kaybı yüzdesi (P), kullanılan açıkta kurutulmuş zeminin kütlesi, açıkta kurutma sonundaki su muhtevası ve zeminin ön işlemler sonundaki kütlelerinden, aşağıdaki eşitlik kullanılarak hesaplanır:

$$P = 100 - \frac{M_b(100 + w_a)}{M_a} (\%)$$

Burada;

M_a Açıkta kurutulmuş zemin kütlesi, (g),
 w_a Kurutma sonucu zeminin su muhtevası, (g),
 M_b Numunenin işlemler sonucu kütlesi, (g)
 dir.

Ön işlemler sonundaki zemin kütlesi (M_b) Madde 5.1.6.4.6.2 ve Madde 5.1.6.6.3'teki yüzdelerin hesaplanmasında kullanılır.

5.1.6.4.6.2 Elenen bölümün hesapları

5.1.6.4.6.2.1 Deney başlangıcındaki numunenin 4,75 mm'lik elekte kalan bölümünün yüzdesi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$4,75 \text{ mm'den iri zemin yüzdesi} = \frac{M_c}{M_b} \times 100(\%)$$

5.1.6.4.6.2.2 Deney başlangıcındaki numunenin, 600 µm'lik elekte kalan bölümünün yüzdesi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$4,75 \text{ mm} - 600 \text{ µm arasındaki zemin yüzdesi} = \frac{M_c}{M_b} \times 100(\%)$$

5.1.6.4.6.2.3 Deney başlangıcındaki numunenin, 200 µm'lik elekte kalan bölümünün yüzdesi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$600 \text{ µm} - 200 \text{ µm arasındaki zemin yüzdesi} = \frac{M_m}{M_b} \times 100(\%)$$

5.1.6.4.6.2.4 Deney başlangıcındaki numunenin, 75 µm'lik elekte kalan bölümünün yüzdesi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$200 \text{ µm} - 75 \text{ µm arasındaki zemin yüzdesi} = \frac{M_f}{M_b} \times 100(\%)$$

5.1.6.4.6.3 Çökeltilen bölümün hesapları

5.1.6.4.6.3.1 Yapılan gözlemlerden veya hesap sonucu elde edilen değerler aşağıdaki sütun başlıklarını ihtiva eden bir çizelgeye geçirilir:

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Tarih	Günün saati	Sıcaklık °C	Geçen süre, t	R _{n1}	R _n = R _{n1} +C _m	H _R	D	M _t	R _n + M _t - X	Yüzde K

Burada;

R_{n1} Menisküsün üst sınırı düzeyindeki hidrometre okuması. Bu değer, okunan sayının kesir bölümünü alıp, üçüncü ve dördüncü basamak arasına bir virgül koyarak bulunmalıdır, örneğin, yoğunluk 1,0325 g/mL ise bu,

$$R_{n1} = 32,5$$

olarak yazılmalıdır,

t Çöktürmenin başlamasından sonra geçen süre,
D Eşdeğer dane çapı (mm),
C_m Menisküs düzeltmesi,
M_t 20°C'ta kalibre edilen hidrometreler için Şekil 15'te verilen sıcaklık düzeltmesi,
X Dağıtma maddesi düzeltmesi
dır.

5.1.6.4.6.3.2 Eşdeğer dane çapı (D), Stokes Kanunu ile aşağıdaki eşitlikten bulunur:

$$D = 0,005531 \sqrt{\frac{\mu}{\rho_s - \rho_w}} \sqrt{\frac{H_R}{t}}$$

Burada;

μ Suyun viskozitesi (EK A),
ρ_s Numunenin yoğunluğu,
ρ_w Suyun yoğunluğu (EK A)
H_R Hidrometre kalibrasyon eğrisinden alınan değer,
t Zaman
dır.

5.1.6.4.6.3.3 Sıcaklık düzeltmesi M_t, sıcaklık düzeltmesi ölçeğinden (Şekil 15) elde edilir ve Çizelgenin 9. sütununa geçirilir. Bundan sonra (R_n+M_t - X) değerleri hesaplanır. Çizelgenin 10. sütununa yazılır.

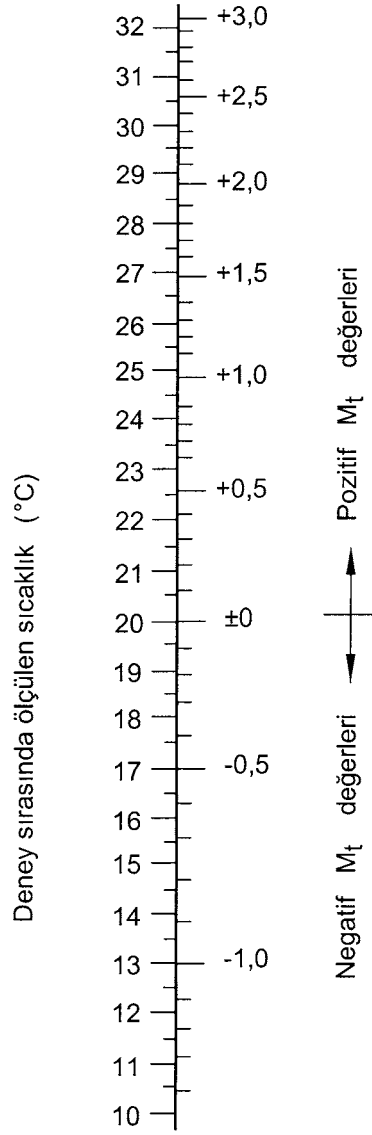
5.1.6.4.6.3.4 Ön işlemler sonunda elde edilen numune kütlesi esas alınarak, ilgili eşdeğer dane çapından daha küçük danelerin yüzdesi (K), aşağıdaki, eşitlikten hesaplanır:

$$K = \frac{100\gamma_s}{M_b(\rho_s - \rho_w)} (R_n + M_t - X)$$

Burada;

M_b Ön işlemler sonunda numunenin toplam kütlesi, (g),
G_s Zemin danelerinin bağıl yoğunluğu, (g)
dır.

5.1.6.4.6.3.5 K değerleri, elde edilmiş olan tüm D değerleri için hesaplanır.



Şekil 15 - 20 °C'ta kalibre edilmiş hidrometreler için sıcaklık düzeltmesi ölçeği

5.1.6.5 Sonuçların gösterilmesi

5.1.6.5.1 Deney sonuçları Çizelge 11'de verilen türde, yarı logaritmik bir grafik kâğıdı üzerine işaretlenir (Madde 5.1.6.6 Not 3) veya Madde 0.2'de tarif edilmiş olan değişik dane çapı gruplarına giren miktarları, yarı logaritmik grafikten okunup % 0,1 yakınlıkla bir çizelge de gösterilir.

5.1.6.5.2 Ön işlemler sırasında meydana gelen kütle kaybı, %1 yakınlıkla verilir.

5.1.6.5.3 Hidrometre metodunun kullanıldığı belirtilmelidir.

5.1.6.6 Notlar

Not 1 - Hidrometrenin hacim merkezinin saptanması: h/2 uzaklığı, simetrik bir gövdenin hacim merkezini belirler. Kullanılan hidrometrenin gövdesi simetrik değilse, hacim merkezini bulmak için gövdenin izdüşümü bir kâğıt üzerine çizilir ve elde edilen alanın kütle merkezi bulunur. Bu nokta gövdenin hacim merkezini yeterli yakınlıkla verir.

Not 2 - Kumun yıkamalı metotla elenmesi: Kum danelerinin ayrılması amacıyla yapılan yıkamalı eleme sırasında, 75 µm'lik eleğin göz açıklığından az küçük çapta olan daneler, Suyun yüzey gerilimi etkisiyle, elek telinin delikleri arasında tutulur. Bu gibi daneler, numunenin ancak küçük bir oranını oluşturduklarından, süspansiyonda bu danelerin yokluğu, çöktürme analizinde önemli hata yaratmaz. Ancak kuru eleme işlemi sırasında, numunenin büyük bir bölümü 75 µm'lik elekten geçiyorsa, geçen malzeme, çöktürme işleminden önce mezür içindeki süspansiyona katılmalıdır.

Not 3 - Numune üzerinde ayrıca iri danelerin analizi, de yapılmışsa, numunenin tamamının analiz sonucu aynı grafik üzerinde gösterilir.

Not 4 - Şekil 15'te verilen sıcaklık düzeltmesi M_t ile sıcaklık t (°C) arasındaki ilişki aşağıdaki eşitlikle de bulunabilir:

$$M_t = (0,0055 t^2 - 0,0403 t - 1,3932)$$

Not 5 - Numune 75 µm'lik elekten elenmesi durumunda, hidrometre deneyi, elde edilen bu numunenin doğrudan Madde 5.1.6.4.5.3'te anlatılan çöktürme işlemine tâbi tutulmasıyla gerçekleştirilebilir.

5.2 Zemin sıkıştırma deneyleri

5.2.1 Deney 7: Zeminde kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası bağıntısının 2,5 kilogramlık tokmakla elde edilmesi (standart enerji)

5.2.1.1 Genel

Bu deney, belirli bir metotla sıkıştırılmış bir zeminde, en büyük kuru birim hacim ağırlığı veren su muhtevasının bulunması ile ilgilidir. Bu deneyde 305 mm'den serbestçe düşen 2,5 kg'lık tokmağın sağladığı mekanik iş kullanılmaktadır.

5.2.1.2 Cihazlar

Metal kalıp, iç çapı 105 mm, iç yüksekliği 115,5 mm ve iç çapı 152,4 mm, iç yüksekliği 115,5 mm olan iki farklı ebatla, silindirik biçiminde, kolayca çıkarılabilen bir taban plâkası ile 50 mm yüksekliği olan bir yakası bulunan (Şekil 16),

Metal tokmak, 50 mm çapında dairesel bir tabanı olan, 2,5 kg kütlede, (tokmağın serbest düşüşünü 305 mm'ye ayarlayabilen bir düzeni olmalıdır), elle çalıştırılmaya elverişli bir cihaz, (Şekil 17). Kalıp ve tokmağın zorunlu boyutlarına uyulduğu ve tokmağın serbest düşüş yüksekliği 305 mm olduğu sürece, otomatik bir cihaz da kullanılabilir. Böyle bir cihazda, kalıbın katı bir taban üzerine oturması sağlanmış olmalıdır.

Terazi, 1 g doğrulukla tartma yapabilen,

Palet bıçağı, A tipi,

Çelik cetvel, yaklaşık olarak 300 mm uzunluğunda 25 mm genişliğinde, 3 mm kalınlığında, bir kenarı şevli,

Elek ve tavası, göz açıklıkları 4,75 mm, 9,5 mm ve 20 mm olan,

Metal bir tepsi, en az 600 mm x 450 mm x 75 mm boyutlarında büyükçe,

Kriko, zemini kalıptan çıkarmaya yarayan (zorunlu değildir),

Ayrıca, su muhtevasının tayini için Deney 1'de belirtilen cihazlar,

5.2.1.3 Deneyin yapılışı

Sıkıştırma deneyi yapılmadan önce, Deney 6'da tarif edilen dane çapı dağılımıyla 4,75 mm, 9,5 mm ve 20 mm'lik eleklerde kalan malzeme yüzdeleri belirlenir. Çizelge 14'teki gerekleri sağlayan elekten elenen malzemenin ilgili kalıba sıkıştırılmasıyla gerçekleştirilir.

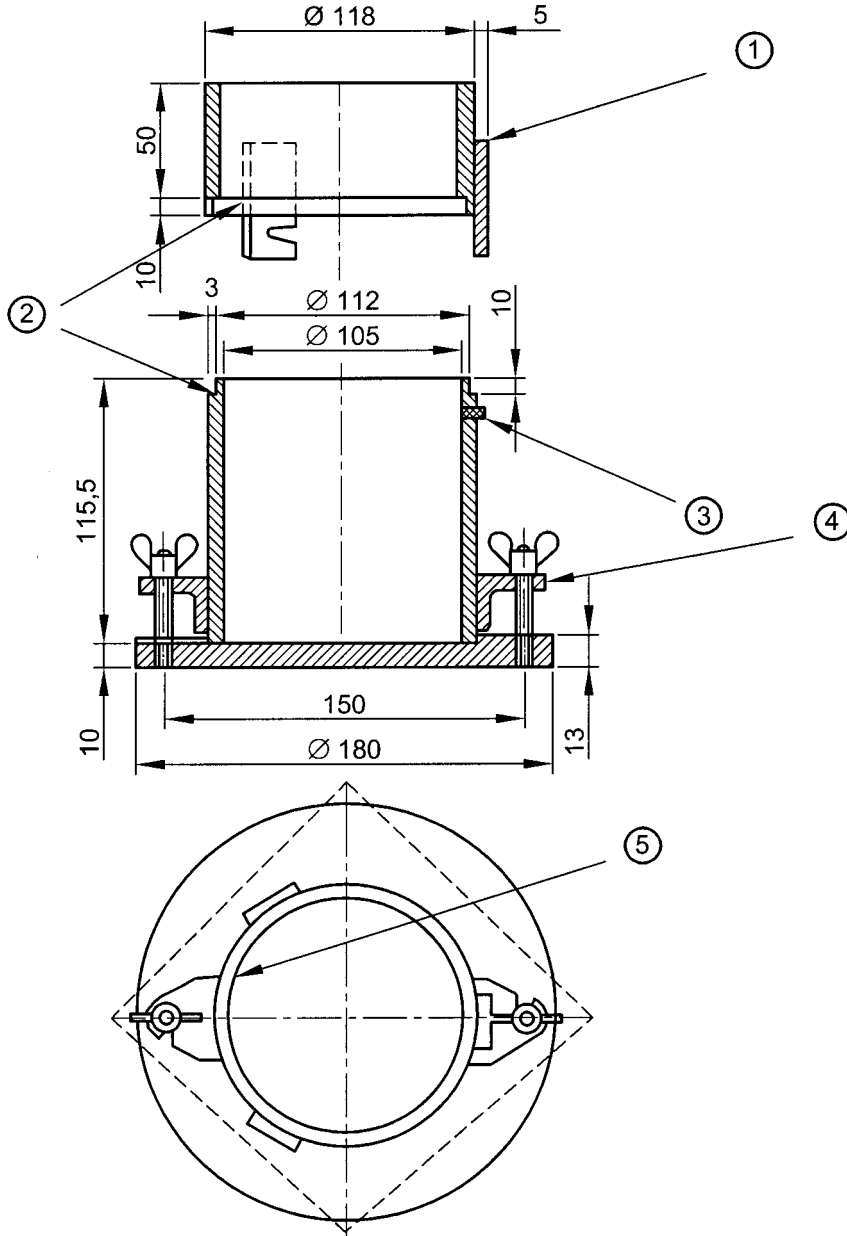
Çizelge 14 - Deney 7 için kullanılması gereken kalıp ve eleklerin seçim kuralları (Madde 5.2.2.6 Not 8)

	Kullanım şartı	Kullanılan malzeme	Kalıp (iç boyutları)	Tabaka sayısı	Her tabakaya vuruş sayısı
A	% 20 ve daha az malzeme 4,75 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	4,75 mm'lik elekten geçen	Çapı: 105,0 mm Boy: 115,5 mm	Üç	25
B	% 20 ve daha fazla malzeme 4,75 mm'lik elekte kalıyor ve % 20 ve daha az malzeme 9,5 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	9,5 mm'lik elekten geçen	Çapı: 105,0 mm Boy: 115,5 mm	Üç	25
C	% 20'den daha fazla malzeme 9,5 mm'lik elekte kalıyor ve % 30 ve daha az malzeme 20 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	20 mm'lik elekten geçen	Çapı: 152,4 mm Boy: 115,5 mm	Üç	56

5.2.1.3.1 Deney sırasında ezilme eğilimi olmayan zeminler (Madde 5.2.2.6 Not 1)

5.2.1.3.1.1 Madde 5.2.3'te belirtildiği gibi, açıkta kurutulup ilgili elekten geçirilerek elde edilen zeminden 5 kg'lık bir numune alınır (Madde 5.2.2.6 Not 2). Numune, zeminin türüne göre, uygun bir miktar su ile iyice karıştırılır (Madde 5.2.2.6 Not 3 ve Not 4).

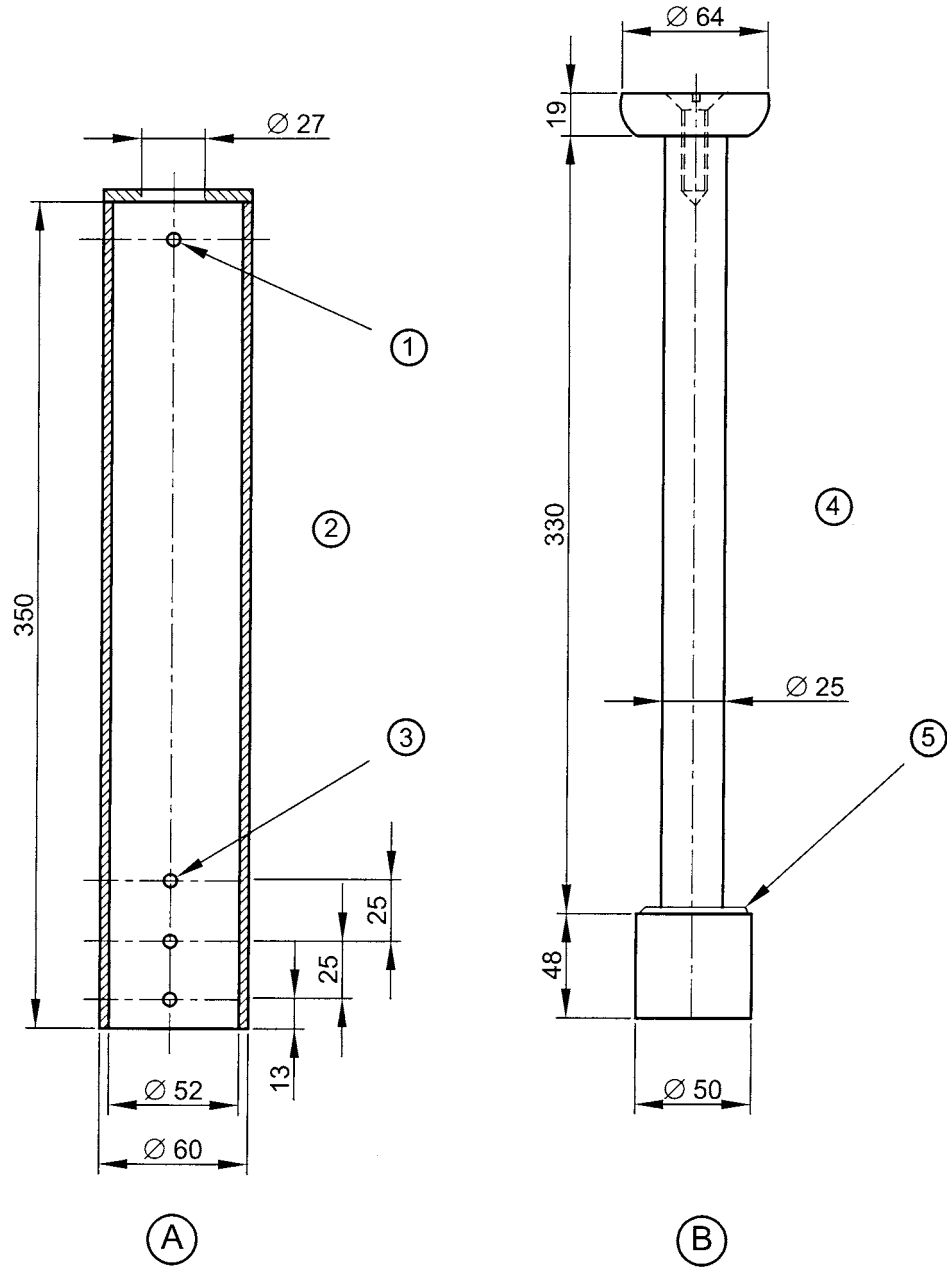
Ölçüler mm'dir

**Açıklamalar**

- 1 Uzaticiya kaynatılmış üç adet çengel
- 2 Kaygın geçme
- 3 Uzatici çengellerinin geçeceği üç adet pim
- 4 Kalıba kaynatılmış iki adet çengel
- 5 İç yüzey hassas işlenmiş kalıp iç yüzeyi

Şekil 16 - Sıkıştırma deneyi için kalıp

Ölçüler mm'dir

**Açıklamalar**

A Kılavuz

B Tokmak

1 6 mm çapında 4 dane delik

2 Kılavuzun boyu tokmağa (305 ± 1,5) mm'lik bir hareket imkânı vermelidir

3 6 mm çapında 12 adet delik

4 Tokmağın toplam ağırlığı 2,5 kg ± 25 g olmalıdır

5 2 mm kalınlığında lâstik conta

Not - Mecburî boyutların altı çizilmiştir**Şekil 17** - Standart sıkıştırma deneyi için 2,5 kg'lık tokmak ve kılavuzu

5.2.1.3.1.2 Kalıp, taban plâkası takılmış olarak 1 g doğrulukla tartılır (M_1). Kalıp, beton döşeme gibi sert bir yüzey üzerine oturtulur ve nemli zemin, mümkün olduğu kadar eşit kütlede üç tabaka halinde, her birine 305 mm serbest düşüş yapan tokmakla 25 darbe veya 56 darbe uygulanarak, üst ucuna yakası takılmış kalıbın içine sıkıştırılır. Darbeler, her tabaka yüzeyine eşit aralıklarla dağıtılmalıdır. Tokmak kılavuzunun, tokmağın serbest düşüşünü engelleyecek biçimde, zeminle tıkanmamasına özen gösterilmelidir.

Kullanılan zemin miktarı, kalıbı doldurmaya yetmeli, ancak sıkıştırılıp yaka çıkarıldıktan sonra kesilip atılacak artık zemin yüksekliği 6 mm'yi aşmamalıdır. Yaka çıkarılır ve sıkıştırılmış zemin, çelik cetvelle, kalıbın üst kenarı düzeyinde dikkatle düzlenir. Kalıp ve zemin, 1 g duyarlılıkla tartılır (M_2).

5.2.1.3.1.3 Sıkıştırılmış zemin, kalıptan çıkarılıp büyükçe bir metal kaba konur. Bu zeminini temsil eden bir numune alınarak Deney 1 yardımıyla su muhtevası ölçülür.

5.2.1.3.1.4 Zeminin geriye kalanı, ufalanıp ilgili elekten geçirilir ve deneyin başında hazırlanan numuneden artmış oranla karıştırılır. Böylece elde edilen örneğe, uygun artışlarla su katılıp karıştırılır ve her defasında, Madde 5.2.1.3.1.2'den Madde 5.2.1.3.1.4'e kadar ki işlemler tekrarlanır.

5.2.1.3.1.5 Deney, en az beş değer verecek biçime tekrarlanır ve kullanılan su muhtevaları en büyük kuru birim hacim ağırlığı veren optimum su muhtevasını içine alan sınırlar arasında değişmelidir.

5.2.1.3.2 Deney sırasında ezilmeye eğilimli zeminler (Madde 5.2.2.6 Not 1)

5.2.1.3.2.1 Aşırı kil içeren ve tokmaktama sırasında parçalanabilir tokmaklanma sonrası topaklanabilir daneler içeren numuneler Madde 5.2.3'te belirtildiği gibi, açıkta kurutulup ilgili elekten geçirilerek elde edilen zeminden, her biri 2,5 kg kütlede beş veya daha çok numune hazırlanır. Numunelerin her biri, en büyük kuru birim hacim ağırlığını veren optimum su muhtevasını içine alan sınırlar arasında olmak üzere, değişik bir miktar su ile iyice karıştırılır (Madde 5.2.2.6 Not 3, 4 ve 5).

5.2.1.3.2.2 Her örneğe, Madde 5.2.1.3.1.2'deki işlem uygulanır.

5.2.1.3.2.3 Sıkıştırılan her örneğe Madde 5.2.1.3.1.3'teki işlem uygulanır.

5.2.1.3.2.4 Her numunenin artan bölümü atılır.

5.2.1.4 Hesaplamalar

5.2.1.4.1 Sıkıştırılmış zeminin yaş birim hacim ağırlık (ρ_n), her numune için aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\rho_n = \frac{M_2 - M_1}{V} \times 9,81 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

M_1 Kalıp ve tabanın kütlesi, (g),

M_2 Kalıp, tabanı ve tabanı sıkıştırılmış zemin kütlesi, (g),

V Kalıbın iç hacmi, (cm^3)

dir.

5.2.1.4.2 Zeminin kuru birim hacim ağırlığı (ρ_k) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\rho_k = \frac{100\rho_n}{100 + w} \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

w Numunenin su muhtevası, (%)

dir.

5.2.1.4.3 Bir seri deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık (ρ_k) ve bunlara karşılık olan su muhtevası değerleri, bir grafik kâğıdı üzerine işlenir. Elde edilen noktalar arasından düzgün bir eğri geçirilir ve bu eğri üzerindeki en büyük değer bulunur. Karşılaştırma amacıyla, aynı grafik üzerine, sıfır, % 5 ve % 10 hava boşluğu yüzdelerini gösteren eğriler çizilir (Şekil 2). Bu eğrilerin elde edilmesinde:

$$\rho_k = \frac{\left(1 - \frac{V_a}{100}\right)}{\frac{1}{G_s} + \frac{w}{100}}$$

eşitliğinden yararlanılır.

Burada;

V_a Hava boşluğu yüzdesi,

G_s Zemin danelerinin bağıl yoğunluğu

dur.

5.2.1.5 Sonuçların gösterilmesi

5.2.1.5.1 Aşağıdaki değerler verilmelidir:

5.2.1.5.1.1 Kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası eğrisinden elde edilen en büyük kuru birim hacim ağırlık, kN/m^3 olarak en yakın 0,01 hanesine yuvarlatılarak verilir.

5.2.1.5.1.2 Kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası eğrisinde, en büyük kuru birim hacim ağırlığa karşılık olan su muhtevası, optimum su muhtevası olarak % cinsinden en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir (Madde 5.2.2.6 Not 6).

5.2.1.5.1.3 20 mm'lik eleğin üstünde kalan malzeme miktarı % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir.

5.2.1.5.1.4 Sıkıştırma deneylerinde Çizelge 15'te verilen form kullanılabilir.

5.2.1.5.1.5 Sonuçların elde edilme metodu, Madde 5.2.2'de belirtilen 2,5 kg'lık tokmak metodu biçiminde belirtilmeli, uygulanan işlem de ayrıca "tek numune" veya "ayrı ayrı numuneler" diye belirtilmelidir.

Çizelge 15 - Sıkıştırma deneyleri için kullanılan form

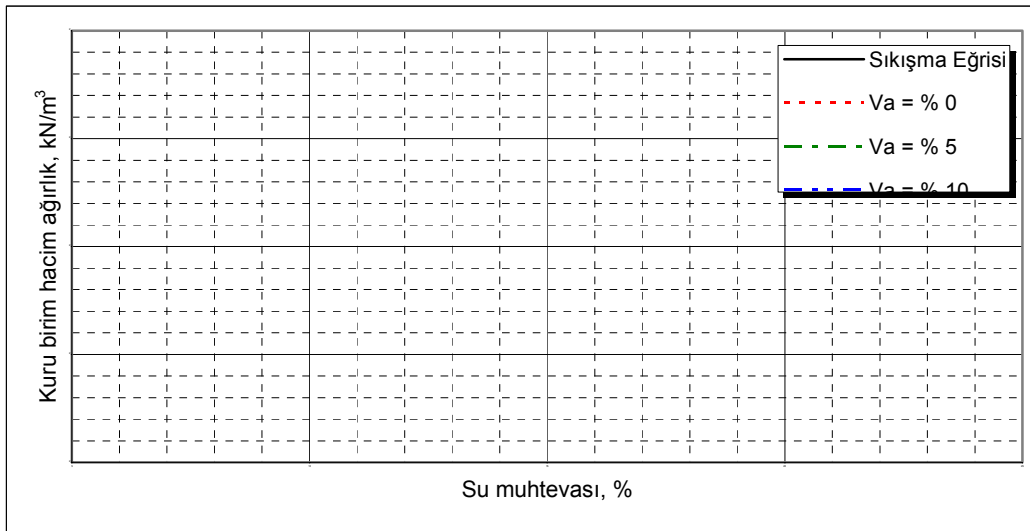
Lâboratuvar no		Numune kabul tarihi	
Gönderen		Deney başlangıç tarihi	
Ait olduğu proje		Deney bitiş tarihi	
Kuyu/sondaj no		Deney standardı	
Numune no		Deneyi yapan	
Kalıp kütlesi, g		Kontrol eden	
Kalıbın hacmi, cm ³			
Bağıl yoğunluk			

Kuru birim hacim ağırlık, γ_k , kN/m³

	1	2	3	4	5	6
Kap + Sıkıştırılmış numune, g						
Kap kütlesi, g						
Sıkıştırılmış numune, g						
Yaş birim hacim kütle, kN/m ³						
Kuru birim hacim kütle, kN/m ³						

Su muhtevası, w_n , %

	1	2	3	4	5	6
Kap No						
Yaş numune + kap, g						
Kuru numune + kap, g						
Su miktarı, g						
Kap, g						
Kuru numune, g						
Su muhtevası, (%)						



ρ_k , kN/m ³		Elek göz açıklığı, mm	
w_{opt} , %		Kalıp çapı, mm	
20 mm'lik elekten kalan, %		Kalıp yüksekliği, mm	
Tokmak kütlesi, kg		Not (Tek/ayrı ayrı numune)	

5.2.2 Deney 8: Zeminde kuru birim hacim ağırlık - su muhtevasının 4,5 kilogramlık tokmakla elde edilmesi (yüksek enerji)

5.2.2.1 Genel

Bu deney belirli bir yolla sıkıştırılan zeminde en büyük kuru birim hacim ağırlığını veren su muhtevasına yakın su içeriklerinde birim hacme sığacak en büyük zemin kütleinin bulunması ile ilgilidir. Deneyde 458 mm serbest düşüş yapan 4,5 kg kütleinde bir tokmak kullanılır.

5.2.2.2 Cihazlar

Metal kalıp, iç çapı 105 mm, iç yüksekliği 115,5 mm ve iç çapı 152,4 mm, iç yüksekliği 115,5 mm olan iki farklı ebatla, silindirik biçiminde, kolayca çıkarılabilen bir taban plâkası ile 50 mm yüksekliği olan bir yakası bulunan ve Şekil 16'da gösterilen kalıp,

Metal tokmak, 50 mm çapında dairesel bir tabanı olan 4,5 kg kütleinde, tokmağın serbest düşüşünü 458 mm'ye ayarlayabilen bir düzeni olmalıdır. Elle çalıştırılmaya elverişli bir cihaz, Şekil 18'de gösterilmiştir. Kılavuz içine hava sıkışmaması için üzerinde 90° aralıklı 4 deliği bulunmalıdır. Kalıp ve tokmağın serbest düşüş yüksekliği 458 mm olduğu sürece, otomatik bir cihaz da kullanılabilir. Böyle bir cihazda kalıbın rijit bir taban üzerine oturmasına olanak sağlanmış olmalıdır.

Terazi, 1 g doğrulukla tartma yapabilen,

Palet bıçağı, A tipi

Çelik cetvel, yaklaşık olarak 300 mm uzunluğunda 25 mm genişliğinde 3 mm kalınlığında bir kenarı şevli,

Elek ve tavaşı, göz açıklıkları 4,75 mm, 9,5 mm ve 20 mm olan ve tavaşı,

Metal bir kap, 600 mm x 450 mm x 75mm boyutlarında, büyükçe

Kriko, zemini kalıptan çıkartmaya yarayan, (zorunlu değildir.)

Ayrıca, su muhtevasının saptanması için Deney 1'de belirtilen cihazlar.

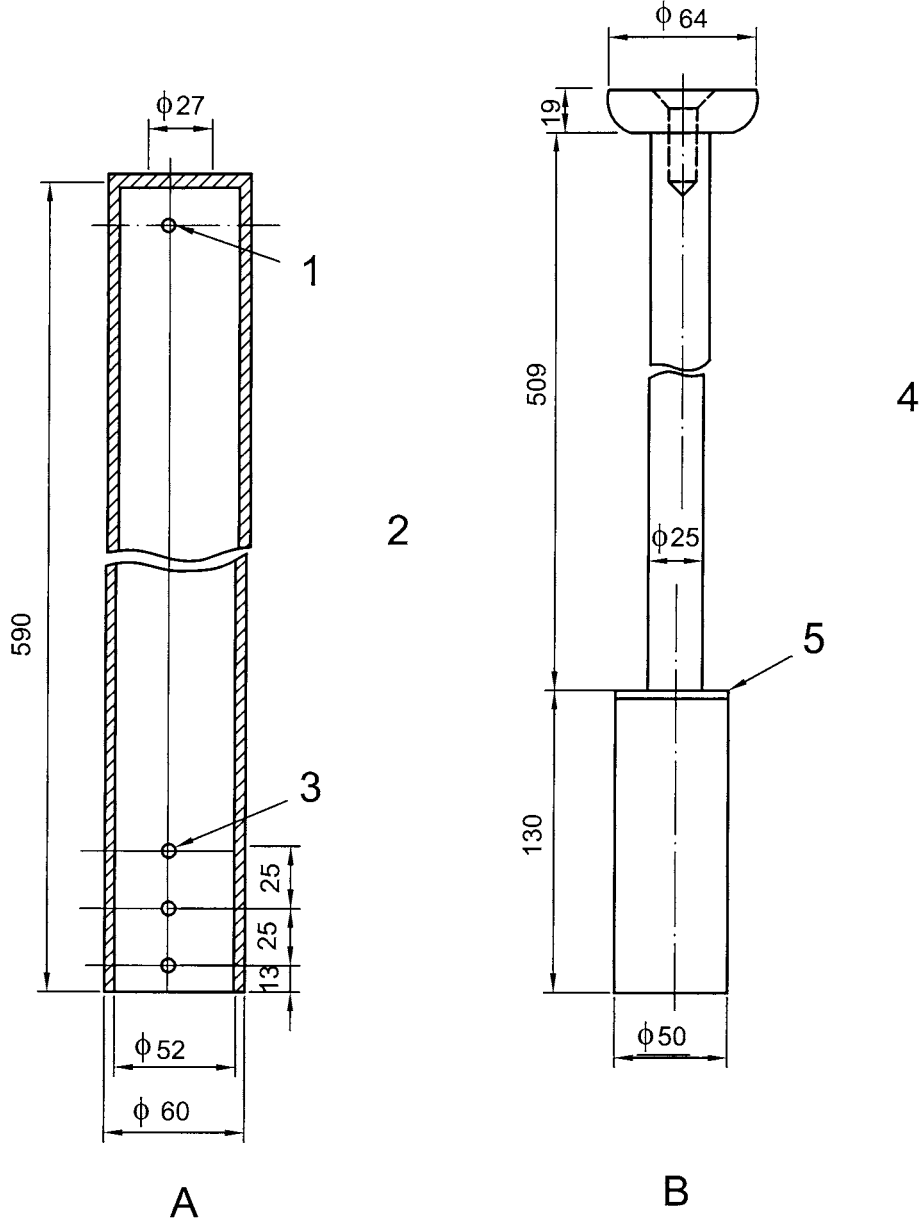
5.2.2.3 Deneyin yapılışı

Sıkıştırma deneyi yapılmadan önce, Deney 6'da tarif edilen dane çapı dağılımıyla 4,75 mm, 9,5 mm ve 20 mm'lik eleklerde kalan malzeme yüzdeleri belirlenir. Çizelge 16'teki gerekleri sağlayan elekten elenen malzemenin ilgili kalıba sıkıştırılmasıyla gerçekleştirilir.

Çizelge 16 - Deney 8 için kullanılması gereken kalıp ve eleklerin seçim kuralları (Madde 5.2.2.6 Not 8)

	Kullanım şartı	Kullanılan malzeme	Kalıp (iç boyutları)	Tabaka sayısı	Her tabakaya vuruş sayısı
A	% 20 ve daha az malzeme 4,75 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	4,75 mm'lik elekten geçen	Çapı: 105,0 mm Boy: 115,5 mm	Beş	25
B	% 20 ve daha fazla malzeme 4,75 mm'lik elekte kalıyor ve %20 ve daha az malzeme 9,5 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	9,5 mm'lik elekten geçen	Çapı: 105,0 mm Boy: 115,5 mm	Beş	25
C	% 20 den daha fazla malzeme 9,5 mm'lik elekte kalıyor ve % 30 ve daha az malzeme 20 mm'lik elek üzerinde kalıyor ise	20 mm'lik elekten geçen	Çapı: 152,4 mm Boy: 115,5 mm	Beş	56

Ölçüler mm'dir

**Açıklamalar**

- A Kılavuz
 B Tokmak
 1 6 mm çapında 4 dane delik
 2 Kılavuzun boyu tokmağa (458 ± 1,5) mm'lik bir hareket imkânı vermelidir
 3 6 mm çapında 12 adet delik
 4 Tokmağın toplam ağırlığı 4,5 kg ± 50 g olmalıdır
 5 2 mm kalınlığında lâstik conta

Not - Mecburî boyutların altı çizilmiştir

Şekil 18 - Sıkıştırma deneyi için 4,5 kg'lık tokmak ve kılavuzu

5.2.2.3.1 Deney sırasında ezilme/topaklanma eğilimi olmayan zeminler (Madde 5.2.2.6 Not 1)

5.2.2.3.1.1 Madde 5.2.3'te belirtildiği gibi, açıkta kurutulup ilgili elekten geçirilerek elde edilen zeminden 5 kg'lık bir numune alınır, (Madde 5.2.2.6 Not 2). Numune, zeminin türüne göre uygun bir miktar su ile iyice karıştırılır. (Madde 5.2.2.6 Not 3 ve Not 4).

5.2.2.3.1.2 Kalıp, taban plâkası takılmış olarak 1 g duyarlılıkla tartılır (M_1). Kalıp, beton döşeme gibi sert bir yüzey üzerine oturtulur ve nemli zemin, olabildiğince eşit kütlede beş tabaka halinde ve her tabakaya 458 mm serbest düşüş yapan tokmakla 25 darbe veya 56 darbe uygulayarak üst ucuna yakın takılmış kalıbın içinde sıkıştırılır. Darbeler, her tabakanın yüzeyine eşit aralıklarla dağıtılmalıdır.

Tokmak kılavuzunun tokmağın serbest düşüşünü engelleyecek biçimde, zeminle tıkanmasına özen gösterilmemelidir.

Kullanılan zemin miktarı, kalıbı doldurmaya yetmeli, ancak yaka çıkarıldıktan sonra kesilip atılacak artık zeminin yüksekliği 6 mm'yi aşmamalıdır. Uzatici çıkarılır ve sıkıştırılmış zemin çelik cetvelle, kalıbın üst kenarı düzeyinde güzelce düzlenir. Kalıp ve zemin, 1 g duyarlılıkla tartılır (M_2).

5.2.2.3.1.3 Sıkıştırılmış zemin kalıptan çıkarılıp büyükçe bir metal kaba konur. Bu zeminini temsil eden bir numune alınarak Deney 1 yardımıyla su muhtevası (w) saptanır.

5.2.2.3.1.4 Zeminin geriye kalanı, ufalanıp ilgili elekten geçirilir ve deneyin başında hazırlanan numuneden artmış olanla karıştırılır. Böylece elde edilen örneğe uygun artımlarla (Madde 5.2.2.6 Not 5) su katılıp karıştırılır ve her defasında, Madde 5.2.2.3.1.2'den Madde 5.2.2.3.1.4'e kadar ki işlemler yinelenir. Deney, en az beş değer verecek biçimde yinelenmeli ve kullanılan su muhtevaları, en büyük kuru birim hacim ağırlığını veren optimum su muhtevası içine alan sınırlar arasında değişmelidir.

5.2.2.3.2 Deney sırasında ezilmeye eğilimli zeminler (Madde 5.2.2.6 Not 1)

5.2.2.3.2.1 Aşırı kil içeren ve tokmaklama sırasında parçalanabilir daneler içeren numuneler Madde 5.2.3'te belirtildiği gibi, açıkta kurutulup ilgili elekten geçirilerek elde edilen zeminden, her biri 2,5 kg kütlede beş veya daha çok numune alınır. Numunelerin her biri, en büyük kuru birim hacim ağırlığını veren optimum su muhtevasını içine alan sınırlar arasında olmak üzere, değişik bir miktar su ile iyice karıştırılır (Madde 5.2.2.6 Not 3, 4 ve 5).

5.2.2.3.1.2 Kalıp, taban plâkası takılmış olarak 1 g doğrulukla tartılır (M_1). Kalıp, beton döşeme gibi sert bir yüzey üzerine oturtulur ve nemli zemin, mümkün olduğu kadar eşit kütlede beş tabaka halinde, her birine 458 mm serbest düşüş yapan tokmakla 25 darbe veya 56 darbe uygulanarak, üst ucuna yakası takılmış kalıbın içine sıkıştırılır. Darbeler, her tabaka yüzeyine eşit aralıklarla dağıtılmalıdır. Tokmak kılavuzunun, tokmağın serbest düşüşünü engelleyecek biçimde, zeminle tıkanmamasına özen gösterilmelidir.

Kullanılan zemin miktarı, kalıbı doldurmaya yetmeli, ancak yaka çıkarıldıktan sonra kesilip atılacak artık zemin yüksekliği 6 mm'yi aşmamalıdır. Yaka çıkarılır ve sıkıştırılmış zemin, çelik cetvelle, kalıbın üst kenarı düzeyinde dikkatle düzlenir. Kalıp ve zemin, 1 g duyarlılıkla tartılır (M_2)

5.2.2.3.1.3 Sıkıştırılan her örneğe Madde 5.2.2.3.1.3'teki işlem uygulanır.

5.2.2.3.1.4 Her numunenin artan bölümü atılır.

5.2.2.4 Hesaplamalar

5.2.2.4.1 Sıkıştırılmış zeminin yaş birim hacim ağırlığı (ρ_n), her numune için aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\rho_n = \frac{M_2 - M_1}{V} \times 9,81 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

M_1 Kalıp ve tabanın kütlesi, (g),

M_2 Kalıp, tabanı ve tabanı sıkıştırılmış zemin kütlesi, (g),

V Kalıbın iç hacmi, (cm^3)

dir.

5.2.2.4.2 Zeminin kuru birim hacim ağırlığı (ρ_k) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\rho_k = \frac{100\rho_n}{100 + w} \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

w Numunenin su muhtevası, (%)
dır.

5.2.2.4.3 Bir seri deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık (ρ_a) ve bunlara karşılık olan su muhtevası değerleri, bir grafik kâğıdı üzerine işaretlenir. Elde edilen noktalar arasından düzgün bir eğri geçirilir ve bu eğri üzerindeki en büyük değer bulunur. Karşılaştırma amacıyla, aynı grafik üzerine, sıfır % 5 ve % 10 hava boşluğu yüzdelerini gösteren eğriler çizilir (Şekil 2).

5.2.2.5 Sonuçların gösterilmesi

5.2.2.5.1 Aşağıdaki değerler verilmelidir:

5.2.2.5.1.1 Kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası eğrisinden elde edilen en büyük kuru birim hacim ağırlık, kN/m^3 olarak en yakın 0,01 hanesine yuvarlatılarak verilir.

5.2.2.5.1.2 Kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası eğrisinde, en büyük kuru birim hacim ağırlığına karşılık olan su muhtevası, optimum su muhtevası olarak % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir (Madde 5.2.2.6 Not 6).

5.2.2.5.1.3 20 mm'lik eleğin üstünde kalan malzeme miktarı % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir.

5.2.2.5.1.4 Sıkıştırma deneylerinde Çizelge 15'te verilen form kullanılabilir.

5.2.2.5.1.5 Sonuçların elde edilme metodu, Madde 5.2.2'de belirtilen 4,5 kg'lık tokmak metodu biçiminde belirtilmeli, uygulanan işlem de ayrıca "tek numune" veya "ayrı ayrı numuneler" diye belirtilmelidir.

5.2.2.6 Deney 7 ve Deney 8 ile ilgili notlar

Not 1 - Zemin, tokmağın darbeleri altında ufalanabilecek yumuşaklıkta, numunenin kireçtaşı veya kumtaşı türünden daneler içeriyorsa, sıkıştırma sırasında ezilmeye eğilimli olarak nitelenmelidir. Olanaklar elverdiği sürece, sıkıştırma sırasında ezilmeye eğilimli zeminler için Madde 5.2.3.2'de verilen işlem, her tür zemin için uygulanabilir.

Not 2 - 20 mm'lik elekte kalıp deneye katılmayan taş miktarı % 5'ten az olduğu sürece bu, sonuçlarda ancak en büyük kuru birim hacim ağırlığının bulunmasındaki deneysel yanılğı düzeyinde bir etki yaratır. 20 mm'lik elekten geçmeyip deneye katılmayan taş oranı yüksek olursa, sonuçlar, zeminin tamamen sıkıştırılmasıyla elde edilebilecek kuru birim hacim ağırlık ve optimum su muhtevasının hayli değişik olabilir.

Aşağıdaki notlar, büyük yanılıgıları gidermek için alınacak önlemlerin saptanmasında yardımcı olabilir, ancak kesin olmaktan uzak sayıldıklarından, standart, deney metodunun bir parçası olarak okunmalıdır. "Çakıl" terimi, kaya parçalarını da kapsamına almaktadır. Sıkıştırma deneyleri, % 30 veya daha az malzeme 20 mm'lik elekte kalıyorsa uygulanır

Not 3 - Deneyin başlangıcında, havada kurutulmuş zemine katılacak su miktarı, incelenmekte olan zemine göre değişir. Genellikle kumlu ve çakıllı zeminlerde % 3 ile % 5 arasında bir su muhtevasıyla başlamak uygun olur. Kohezyonlu zeminlerde ise, plâstik limitin % 12 ile %16 arası altında bir su muhtevasıyla başlamak uygundur.

Not 4 - Katılan suyun zeminle iyice karıştırılmış olması önemlidir, yeterince karıştırmama yanlış sonuçlar verir. Bu konu, oldukça çok bir miktar suyun açıkta kurutulmuş kohezyonlu zeminlere katıldığı durumlarda özellikle önem taşır. Yüksek kapasiteli zeminlerde veya suyun zemine elle karıştırıldığı durumlarda, suyun homojen bir biçimde zemine dağılması sadece karıştırmakla sağlanmayabilir ve karıştırılmış numuneyi denemezden önce, kapalı bir kap içerisinde en az 16 saatlik bir süre için bekletmek gerekebilir.

Not 5 - Deneyin her aşamasında eklenen su miktarı, optimum su muhtevasını içine alan sınırlar arasında değişen su muhtevasını verecek biçimde ayarlanmalıdır. Genellikle, kumlu ve çakıllı zeminler için su muhtevasını % 1 - 2, kohezyonlu zeminler için de % 2 - % 3 miktarında arttırmak yerinde olur. Sonuçların güvenilirliğini arttırmak için optimum su muhtevası dolayında, katılan su miktarını daha da azaltmak yerinde olur.

Not 6 - Temiz çakıl, oldukça eşit büyüklükte veya iri danelerden oluşan, temiz kum gibi geçirimsizliği yüksek olan zeminlerde, laboratuvar sıkıştırma deneyi (2,5 kg'lık tokmak metodu), arazi sıkıştırma şartnameleri için yetersiz bir dayanaktır. Laboratuvar deneyi, genellikle arazi için uygun olan optimum su muhtevasının çok üstünde bir değer verir. Elde edilen en büyük kuru birim hacim ağırlık ise, çoğu kez arazide kolaylıkla sağlanabilen kuru birim hacim ağırlığın çok altındadır.

Not 7 - Sıkıştırma deneylerinde kullanılacak kalıp boyutlar yaklaşık mertebededir. Standardda verilen değerlere yakın kalıplar da kullanılabilir.

Not 8 - 20 mm göz açıklıklı elek yerine 19 mm göz açıklıklı ekte kullanılabilir.

5.2.3 Deney 9: İri daneli zeminde kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası bağıntısının titreşimli tokmak ile bulunması

5.2.3.1 Genel

Bu deney, belirli metotla sıkıştırılmış zeminde, en büyük kuru birim hacim ağırlığını veren su miktarı dolayında değişen su muhtevasında, birim hacmindeki kuru zemin kütlesinin bulunması ile ilgilidir. İnce daneli granüler zeminler ve orta ve iri daneli granüler zeminlerin 40 mm'lik elekten geçen bölümü için elverişli olan bu deneyde zemin elektrikle çalışan titreşimli bir tokmakla aşağıda belirtilen kalıba sıkıştırılır.

5.2.3.2 Cihazlar

Metal bir kalıp, iç çapı 152 mm, iç efektif yüksekliği 127 cm olup kolayca takılıp çıkarılabilen bir taban plâkası ile 5 cm yükseklikte bir yakası olan, silindirel, her deneyden önce kalıp ve yakasının iç yüzeyine ince bir zar halinde yağ sürülmelidir,

Çelik tokmak, elektrikle çalışan, 600 ile 750 Watt arası güçte olup dakikada 1500 ile 2500 arası devir yapan bir titreşim cihazı ile buna eklenen tokmak (bu tokmağın 146 mm çapında daire biçimli bir tabanı olmalı, kütlesi 3,18 kg'ı aşmamalıdır). Tokmağın boyutları Şekil 19'da gösterilmiştir (Madde 5.2.3.6 Not 2).

Terazi, 1g doğrulukla tartma yapabilen,

Elek, 40 mm'lik göz açıklığı olan,

Çelik cetvel, yaklaşık olarak 300 mm uzunluğunda, 25 mm genişliğinde, 3 mm kalınlığında, bir kenarı şevli,

Çelik cetvel, numune derinliğini 0,5 duyarlılıkla ölçebilecek bir derinlik göstergesi veya mm bölüntülü bir cihaz,

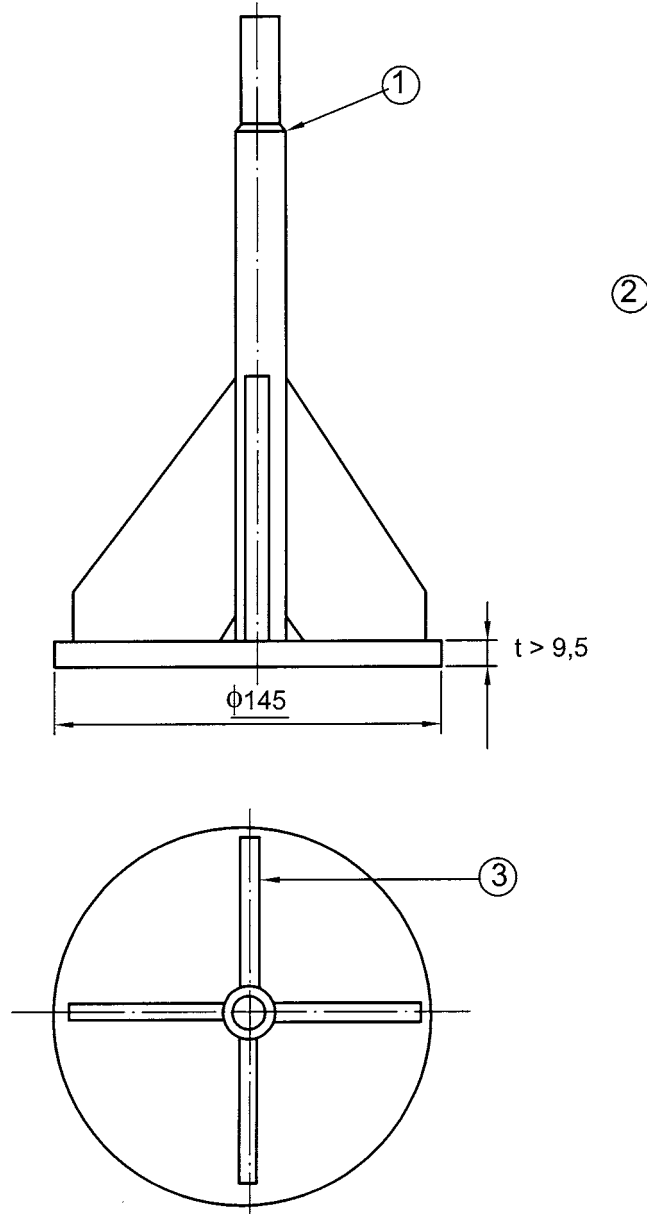
Metal tepsi, 600 mm x 450 mm x 75 mm boyutlarında

Kronometre

Kriko, sıkıştırılmış numuneyi kalıptan çıkarmaya yarayan (zorunlu değildir).

Ayrıca, su muhtevasının tayini için Deney 1'de belirtilen cihazlar

Ölçüler mm'dir

**Açıklamalar**

- 1 Vibratöre uymalıdır
- 2 Tokmağın kütlesi 3,18 kg'ı aşmamalıdır
- 3 6,4 mm kalınlığında destekleyici plâka

Not Şekilde gösterilen cihaz yeterlidir, mecburî işlevlerini yerine getirebilen başka bir cihaz da kullanılabilir, mecburî boyutların altı çizilmiştir

Şekil 19 - Titreşimli sehpa deneyinde kullanılan tokmak

5.2.3.3 Deneyin yapılışı

5.2.3.3.1 Deney sırasında ezilme özelliği olmayan zeminler

5.2.3.3.1.1 Madde 5.2.3'te belirtildiği gibi, açıkta kurutulup, 40 mm'lik elekten geçirilerek elde edilen zeminden 25 kg'lık bir numune alınır. Numune, zeminin türüne göre, uygun bir miktar su ile iyice karıştırılır (Madde 5.2.3.6 Not 4 ve 5).

5.2.3.3.1.2 Metal kalıp, taban plâkası ve 5 cm'lik yakası takılmış olarak 1 g duyarlılıkla tartılır (M_1). Kalıp beton döşeme gibi sert bir yüzey üzerine oturtulur ve nemli zemin, mümkün olduğu kadar eşit kütlede üç tabaka halinde ve sonuçta toplam olarak 127 mm ile 133 mm arasında bir derinlik oluşturacak biçimde, daire biçimli tokmağı takılmış titreşim cihazı ile kalıbın içine sıkıştırılır.

Her tabakaya, 60 saniyelik bir süre için titreşim uygulanmalı ve bu süre boyunca titreşim cihazı aşağıya doğru, cihazın kendi kütlesiyle birlikte, toplam olarak 30 kg ile 40 kg arasında bir yük yaratacak biçimde, değişmez bir kuvvetle itilmelidir (Madde 5.2.3.6 Not 6).

5.2.3.3.1.3 Son tabakanın sıkıştırılmasından sonra, kalıbın çeperine yakın noktalarda toplanan gevşek malzeme, numunenin yüzeyinden temizlenir. Yakanın ağız düzeyini belirlemek için bir cetvel kullanarak, numune yüzeyinin yaka ağzından derinliği 0,5 mm duyarlılıkla ölçülür. Numunenin yüzeyine eşit aralıklarla dağılmış ve kalıp çeperinden en az 13 mm içeride kalan dört noktadan alınan ölçülerden numunenin ortalama yüksekliği (h) hesaplanır. Numunenin yüksekliği 133 mm'den çok veya 127 mm'den azsa, numune ufalanıp deney tekrarlanır.

5.2.3.3.1.4 Kalıp yakası, taban plâkası ve içindeki zeminle birlikte 1 g duyarlılıkla tartılır (M_2).

5.2.3.3.1.5 Sıkıştırılmış zemin, kalıptan çıkarılıp büyükçe bir metal kaba konur. Bu zeminini temsil eden bir numune alınarak Deney 1 yardımıyla su muhtevası ölçülür.

5.2.3.3.1.6 Zeminin geriye kalanı ufalanır ve deneyin başında hazırlanan numuneden artmış olanla karıştırılır. Böylece elde edilen numuneye, uygun artışlarla (Madde 5.2.3.6 Not 7) su katılıp karıştırılır ve her defasında, Madde 5.2.3.3.1.2'den Madde 5.2.3.3.1.6'ya kadar ki işlemler tekrarlanır. Deney en az beş değer verecek biçimde tekrarlanmalı ve kullanılan su muhtevası, en büyük kuru birim hacim ağırlığını veren optimum su muhtevasını içine alan sınırlar arasında değişmelidir.

5.2.3.3.2 Deney sırasında kırılmaya eğilimli zeminler (Madde 5.2.3.6 Not 3)

5.2.3.3.2.1 Madde 5.2.3'te belirtildiği gibi, açıkta kurutulup 40 mm'lik elekten geçirilerek elde edilen zeminden, her biri 8 kg kütlesinde beş veya daha çok numune alınır. Numunelerin her biri, en büyük kuru birim hacim ağırlığını veren optimum su muhtevasını içine alan sınırlar arasında olmak üzere, değişik bir miktar su ile iyice karıştırılır (Madde 5.2.3.6 Not 4, Not 5 ve Not 7).

5.2.3.3.2.2 Her numuneye Madde 5.2.3.3.1.2'de ki işlem uygulanır.

5.2.3.3.2.3 Her numuneye Madde 5.2.3.1.3'te ki işlem uygulanır.

5.2.3.3.2.4 Her numuneye Madde 5.2.3.1.4'te ki işlem uygulanır.

5.2.3.3.2.5 Sıkıştırılan her numuneye Madde 5.2.3.3.1.5'te ki işlem uygulanır.

5.2.3.3.2.6 Her numunenin artan bölümü atılır.

5.2.3.4 Hesaplamalar

5.2.3.4.1 Sıkıştırılmış zeminin yaş birim hacim ağırlık (ρ_n) her numune için aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\rho_n = \frac{M_2 - M_1}{V} \cdot 9,81 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

- M_1 Kalıp, tabanı ve yakanın kütlesi, (g),
 M_2 Kalıp, tabanı yaka ve sıkıştırılmış zeminin kütlesi, (g),
 V Kalıbın ortalama iç hacmi, (cm^3)
 dir.

5.2.3.4.2 Zeminin kuru birim hacim ağırlık (ρ_k) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\rho_k = \frac{100\rho_n}{100 + w} \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

- w Numunenin su muhtevası, (%)
 dir.

5.2.3.4.3 Bir seri deney sonucunda elde edilen kuru birim hacim ağırlık (ρ_k) ve bunlara karşılık olan su muhtevası değerleri, bir grafik kâğıdı üzerine işaretlenir. Elde edilen noktalar arasından düzgün bir eğri geçirilir ve bu eğri üzerindeki en büyük değerler bulunur.

5.2.3.4.4 Karşılaştırma amacıyla, aynı grafik üzerine, % 0, % 5 ve % 10 hava boşluğu yüzdelerini gösteren eğriler çizilir (Şekil 2). Sabit hava boşluğu eğrilerini çizmek için aşağıdaki eşitlik kullanılır:

$$\rho_k = \frac{\left(1 - \frac{V_a}{100}\right)}{\frac{1}{G_s} + \frac{w}{100}}$$

Burada;

- V_a Hava boşluğu yüzdesi,
 G_s Zemin danelerinin bağıl yoğunluğu
 dir.

5.2.3.5 Sonuçların gösterilmesi

5.2.3.5.1 Kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası eğrisinden elde edilen en büyük kuru birim hacim ağırlık, kN/m^3 olarak en yakın 0,01 hanesine yuvarlatılarak verilir.

5.2.3.5.2 Kuru birim hacim ağırlık - su muhtevası eğrisinde, en büyük birim ağırlığa karşılık olan değer optimum su muhtevası olarak % cinsinden en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir.

5.2.3.5.3 40 mm'lik eleğin üstünde kalan malzeme miktarı % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir.

5.2.3.5.4 Sıkıştırma deneylerinde Çizelge 15'te verilen form kullanılabilir.

5.2.3.5.5 Sonuçların elde edilme metodu, 'Titreşimli tokmak metodu' biçiminde belirtilmeli, uygulanan işlem de ayrıca 'tek numune' veya 'ayrı ayrı numuneler' diye eklenmelidir.

5.2.3.6 Notlar

Not 1 - Titreşimli tokmak metodu geçirimsizliği yüksek olan temiz çakıllar, uniform ve temiz kumlarda Deney 7 ve Deney 8'e tercih edilir. Arazi sıkıştırma çalışmalarında bu deneylerin sonuçlarına güvenilmez. Titreşimli tokmak metoduyla elde edilen sonuçlar, arazide kullanılması gereken optimum su muhtevasını yeterli bir biçimde bulur ve genellikle bu deneyle elde edilen en büyük kuru birim hacim ağırlık değeri, arazide elde edilebilenin çok az üzerinde olur.

Not 2 - Titreşimli tokmağın, uygun olarak bakımının yapılmış olması, hareket eden parçaların aşırı derecede aşınmış olmaması çok önemlidir.

Bu deneyin şartlarına uyan bir cihazın belirtilen özellikleri sağlayıp sağlamadığını denetlemek için şu deney yapılabilir:

Kütlesi 25 kg, özellikleri bilinen kum, 300 µm ve 600 µm eleklerden elenir. 600 µm'lik elekten geçen 300 µm'lik elekte kalan malzeme atılır. 600 µm'lik elekte kalan kuma, su muhtevasını % 2,5 ± % 0,5'e yükseltecek miktarda damıtık su katılır. Nemlendirilmiş kum, incelenmekte olan titreşimli tokmak kullanılarak Madde 5.2.3.1.2'den Madde 5.2.3.1.5'e kadarki işlemler aynen uygulanarak, çapı 152 mm, yüksekliği 127 mm olan metal kalıp içerisine sıkıştırılır. Aynı numune kullanılarak sıkıştırma deneyi üç kez tekrarlanır ve bulunan kuru birim hacim ağırlık değerlerinin 0,1 kN/m³ yakınlıkla hesaplanır. Üç deneyde bulunan kuru birim hacim ağırlık deneyleri birbirinden 0,5 kN/m³'ten daha büyük bir fark gösteriyorsa, deney tamamen tekrarlanmalıdır. Bulunan ortalama kuru birim hacim ağırlık, 16,7 kN/m³'ten yüksekse, titreşimli tokmağın bu standartta belirtilen şartları sağladığı kabul edilebilir.

Not 3 - Zemin, titreşimli tokmak altında ufalanabilecek yumuşaklıkta, numunenin, kireçtaşı veya kumtaşı türünden daneler içeriyorsa, sıkıştırma sırasında ezilmeye eğilimli olarak nitelenmelidir. İmkânlar el verdiği sürece, sıkıştırma sırasında ezilmeye eğilimli zeminler için Madde 5.2.3.3.2'de verilen işlem, her türlü zemin için uygulanabilir.

Not 4 - Deneyin başlangıcında, açıkta kurutulmuş zemine katılacak su miktarı, incelenmekte olan zemine göre değişir. Genellikle kumlu ve çakıllı zeminlerde % 2 ile % 5 arasında bir su muhtevasıyla başlamak uygundur.

Not 5 - Katılan suyun zeminle iyice karıştırılmış olması önemlidir, yeterince karıştırmamak yanlış sonuçlar verir.

Not 6 - Gereken sıkışma derecesini elde etmek için tokmağa titreşimle birlikte basınç uygulamak gereklidir. Titreşimli tokmağın kütlesini de içine alan gerekli toplam düşey yük (30 kg - 40 kg), tokmağın zemin üzerinde sekmesini önlemek için gerekli basınçtan yüksektir. Cihazı kullanan kişinin, gerekli basıncı genellikle yeterli duyarlılıkla uygulayabildiği görülmüştür. Cihazı kullanacak kişi, bu konuda yeterli beceriyi edinene kadar titreşimli tokmak, titreşim verilmeden, bir tabla basküle uygulanıp gerekli basınç bulunmalıdır.

Not 7 - Deneyin her tekrarında eklenen su miktarı, optimum su muhtevasını içine alan sınırlar arasında değişen su muhtevaları verecek biçimde ayarlanmalıdır. Genellikle kumlu ve çakıllı zeminler için su muhtevasını % 1 - % 2 oranında arttırmak yerinde olur. Sonuçların güvenilirliğini arttırmak için optimum su muhtevası civarında, katılan su miktarını daha da azaltmak yerinde olur.

5.3 Zeminin kuru birim hacim ağırlığının yerinde tayini

5.3.1 Deney 10: Zemin yerine kum doldurma metodu (ince ve orta daneli zeminler için küçük boşaltma silindiri metodu)

5.3.1.1 Genel

Bu deney, ince veya orta daneli, tabii veya sıkıştırılmış zeminde kuru birim ağırlığın, 11 cm çapında bir kum boşaltma silindiri kullanılarak yerinde tayini ile ilgilidir. Bu metod, kalınlığı 15 cm'yi aşmayan ve kazıldıktan sonra göçmeden duran zemin tabakalarında kullanılır.

5.3.1.2 Cihazlar

Boşaltma silindiri, özellikleri Şekil 20'de gösterilen,

Çukur açma kaçığı, Şekil 21'e benzer makine benzer,

Kazıma cihazı, Şekil 22'ye benzer,

Kalibrasyon kabı, Şekil 23'te gösterilen silindir, metal, iç çapı 10 cm, iç derinliği, 15 cm ve ağzının çevresinde 5 cm eninde, 4,5 mm kalınlığında bir kenarı olan,

Terazi, 1 g doğrulukla tartma yapabilen,

Cam plâka, kenar uzunluğu en az 45 cm, kalınlığı 9 mm olan, kare biçiminde, veya

Herhangi bir düz yüzey,

Metal kap, kazılan zemini koymak için yaklaşık olarak 30 cm çapında, 4 cm derinliğinde,

Numune alıcı, uzunluğu 15 cm, iç çapı 10 cm, et kalınlığı 3 mm olan, bir ucu kesici, silindirik çelik. Şekil 24'te gösterilen, (bu cihaz, ince bir tabaka gres yağı ile kaplı olarak saklanmalıdır),

Metal tepsi, kenar uzunluğu 30 cm, derinliği 4 cm olan ve ortasında 10 cm çapında bir deliği bulunan, kare biçiminde,

Elek, 600 µm (veya 630 µm), 300 µm (315 µm)

Ayrıca, su muhtevasının tayini için Deney 1'de belirtilen cihazlar.

5.3.1.3 Malzeme

Yıkanmış tabii kum, 600 µm elekten geçip 300 µm elekte kalan içinde, organik madde, bulunmayan, etüvde kurutulup su muhtevası, havadaki nemle dengeye gelene, kadar (yaklaşık bir hafta) bekletilmiş bir malzeme.

5.3.1.4 Cihazın kalibre edilmesi

5.3.1.4.1 Boşaltma silindirinin konik bölümünü dolduran kum miktarının ölçülmesi

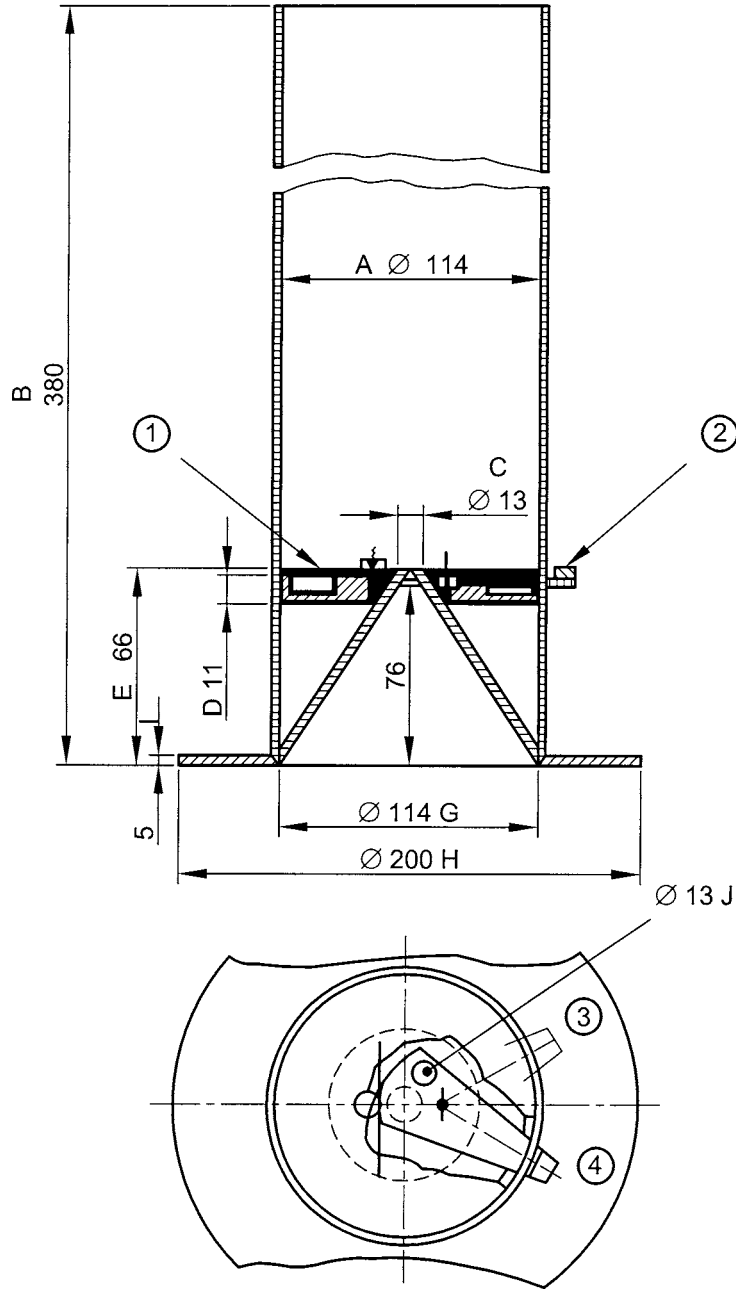
5.3.1.4.1.1 Boşaltma silindiri, ağzına yaklaşık olarak 1 cm kalana kadar kumla doldurulur. Cihazın toplam başlangıç kütlesi (M_1) bulunur. Kalibrasyonun kullanılacağı bütün deneylerde başlangıç kütlesi değiştirilmelidir. Kazılan zeminin hacmine yakın (veya kalibrasyon silindirinin hacmine eşit) bir miktar kum dışarıya akıtılır. Bundan sonra boşaltma silindirinin kapağı kapatılır ve cihaz, cam bir plâka gibi düz bir yüzey üzerine oturtulur.

5.3.1.4.1.2 Boşaltma silindirinin kapağı açılıp kumun alta akması sağlanır. Kumun akışı sırasında boşaltma silindirini herhangi bir biçimde sarsmamak gerekir. Kumun akışı durunca, silindirinin kapağı kapatılıp cihaz, kum yığını üzerinden özenle alınır.

5.3.1.4.1.3 Boşaltma silindirinin konik bölümünü doldurup düz yüzey üzerinde yığılı kalan kum 1 g duyarlılıkla tartılır.

5.3.1.4.1.4 Yukarıdaki işlem en az üç defa tekrarlanır ve konik bölümü doldurmak için gereken kumun ortalama kütlesi (M_2) bulunur.

Ölçüler mm'dir

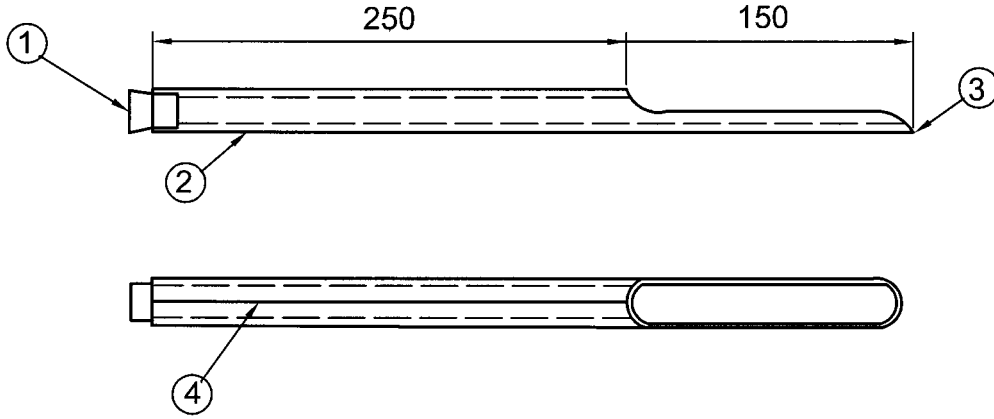
**Açıklamalar**

- 1 Kapağın üst plâkası
- 2 Kapak kolu
- 3 Açık
- 4 Kapalı

Not - Şekilde gösterilen cihaz yeterlidir, zorunlu işlemlerini yerine, getirebilen başka bir cihaz da kullanılabilir, mecburî boyunların altı çizilmiştir

Şekil 20 - İnce ve orta daneli zeminlerin arazide kuru birim hacim ağırlığını ölçmekte kullanılan küçük boşaltma silindiri.

Ölçüler mm'dir

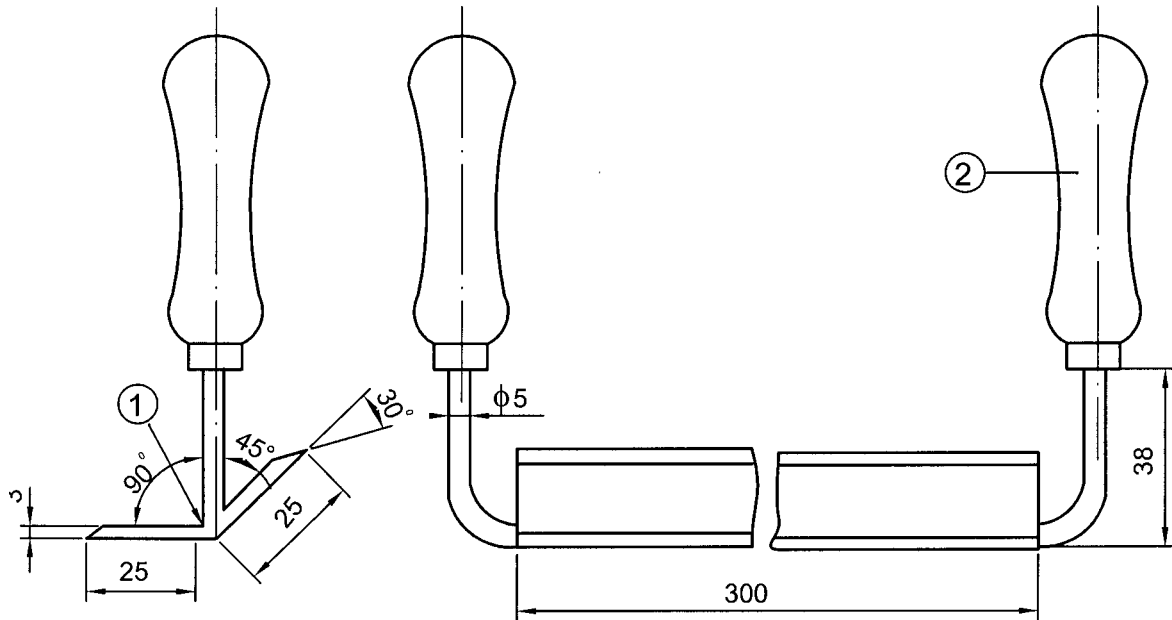
**Açıklamalar**

- 1 Lâstik kapak
- 2 İç çapı 18 mm, et kalınlığı 1,5 mm
- 3 Bilenmiş uç
- 4 Borunun ek yeri

Not - Şekilde gösterilen cihaz yeterlidir, mecburî işlevlerini yerine getirebilen başka bir cihazda kullanılabilir.

Şekil 21 - Birim hacim ağırlığın tayininde kullanılan çukur açma kaşığı

Ölçüler mm'dir

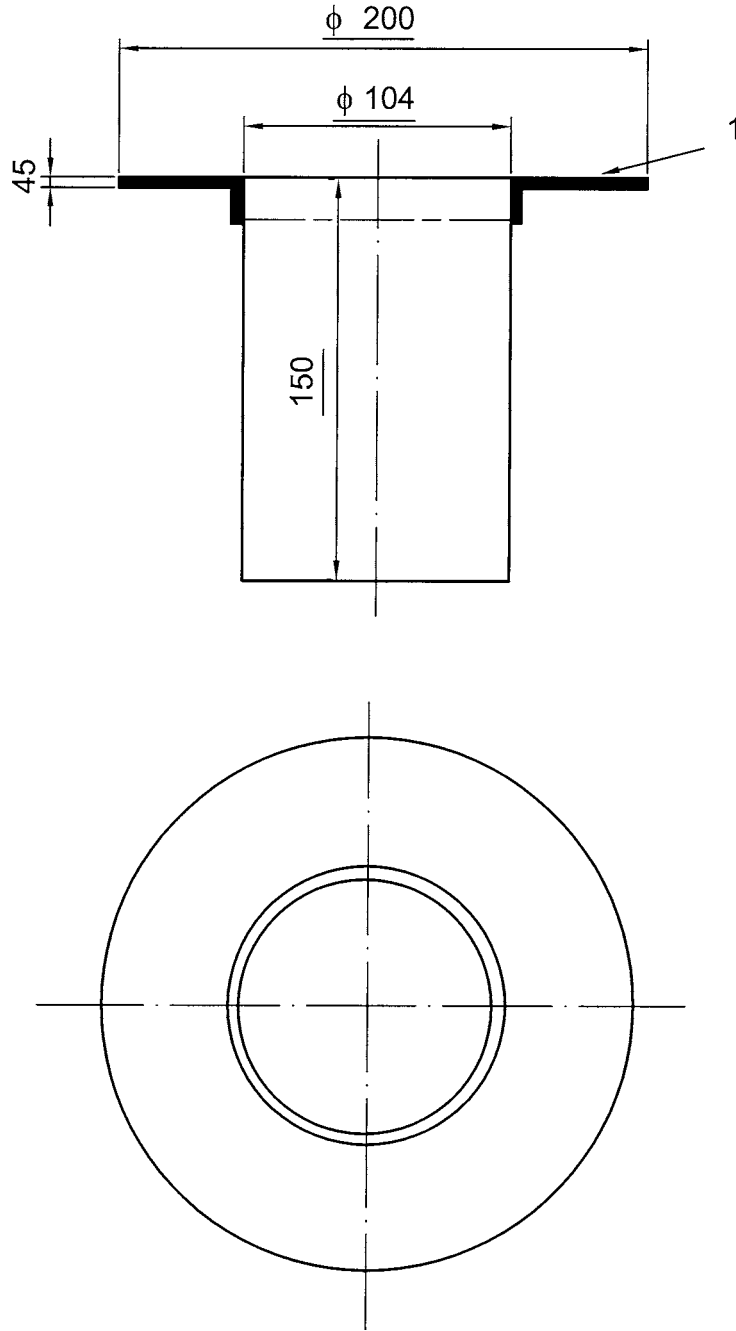
**Açıklamalar**

- 1 Kaynak
- 2 Tahta sap

Not - Şekilde gösterilen cihaz yeterlidir, mecburî işlevlerini yerine getirebilen başka bir cihazda kullanılabilir.

Şekil 22 - Zemin yüzeyini düzlemede kullanılan kazma cihazı

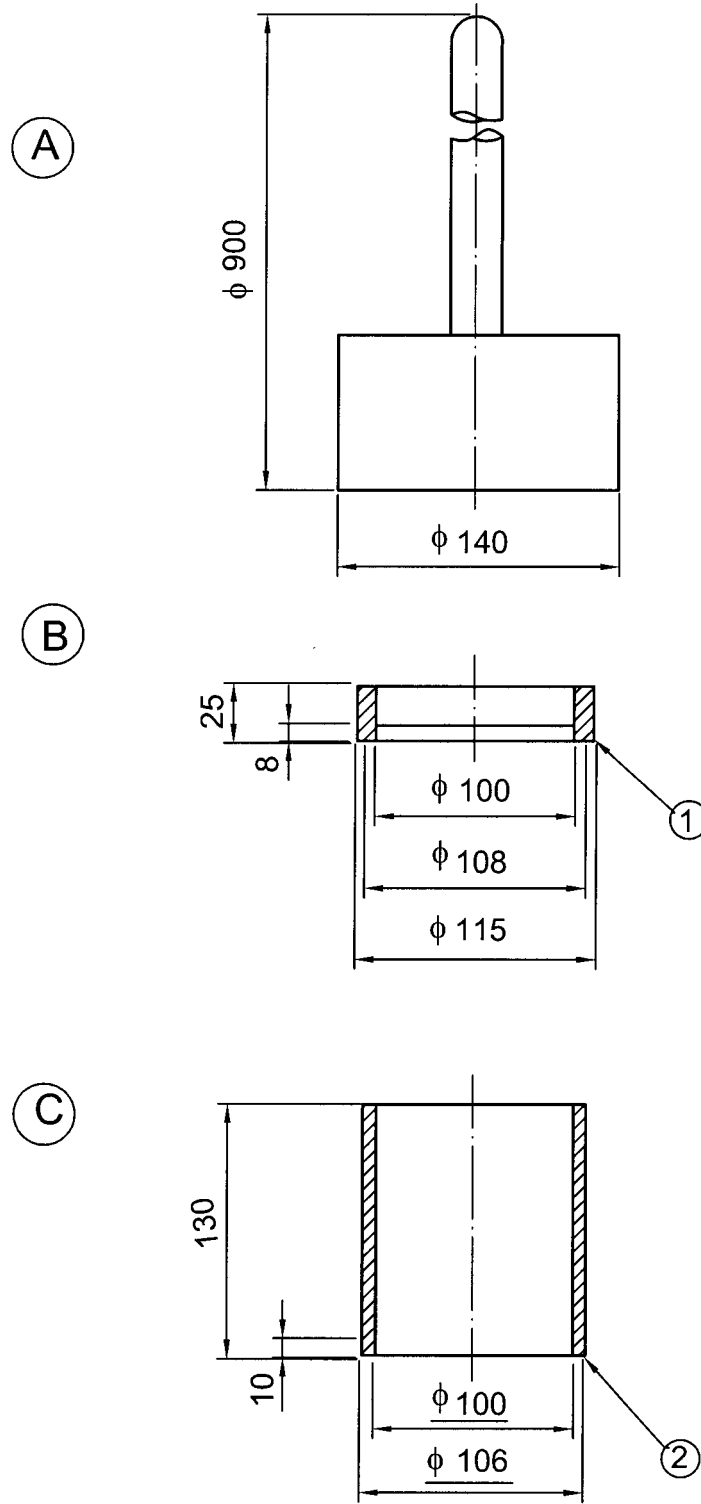
Ölçüler mm'dir

**Açıklama**

1 Düz yüzey

Not - Mecburî boyutların altı çizilmiştir.**Şekil 23** - Küçük boşaltma silindiri ile kullanılacak kalibrasyon kabı

Ölçüler mm'dir

**Açıklamalar**

A Tokmak
B Başlık
C Numune alıcı

1 Uç kesimi
2 Sertleştirilmiş kesici uç

Not - Mecburî boyutların altı çizilmiştir

Şekil 24 - Zeminin birim hacim ağırlığını ölçmekte kullanılan numune alıcı ve yardımcı parçaları

5.3.1.4.2 Kumun yaş birim hacim ağırlığının ölçülmesi

5.3.1.4.2.1 Kalibrasyon kabını dolduracak suyun kütlesinden bu kabın iç hacmi (V) bulunur. Suyla doldururken yüzeyin kabın ağızıyla aynı olmasına dikkat edilir.

5.3.1.4.2.1 Boşaltma silindiri Madde 5.3.1.4.1'de ölçülen (M_1) kütleyle gelene kadar kumla doldurulduktan sonra, merkezleri bir eksene gelecek biçimde, kalibrasyon kabının üzerine yerleştirilir. Bu işlem sırasında, boşaltma silindirinin kapağı kapalı tutulmalıdır. Bundan sonra, kapak açılıp kumun alta akması sağlanır. Kumun akışı sırasında, boşaltma silindirini herhangi bir biçimde sarsmamak gerekir. Kumun akışı durunca, silindirin kapağı kapatılır. Boşaltma silindiri alınıp 1 g duyarlılıkla tartılır.

5.3.1.4.2.1 Yukarıdaki işlem en az üç defa tekrarlanır ve boşaltma silindiri ile içinde kalan kumun ortalama kütlesi (M_3) bulunur (Madde 5.3.1.8 Not 1).

5.3.1.5 Zeminin tabii birim hacim ağırlığının tayini

5.3.1.5.1 Ölçülecek zeminin düz bir kesiminde, kenar uzunluğu yaklaşık 45 cm olan kare biçiminde bir alan, Şekil 22'de gösterilen kazıma cihazıyla temizlenip düzlenir.

5.3.1.5.2.a Kohezyonlu zeminler için

Zeminde, çapı yaklaşık olarak 10 cm ve derinliği 15 cm'yi aşmamak üzere, incelenecek tabakanın kalınlığına eşit bir çukur açılır. Çukurun içinde gevşek malzeme kalmaması, kazı sırasında kenardaki zeminin ezilmemesine özen gösterilmelidir. Ortasında deliği olan metal tepsi, açılan çukurun üzerine yerleştirilir ve tepsinin deliği kılavuz olarak kullanılarak çukurun çapı genişletilir. Kum boşaltma silindiri çukurun üzerine yerleştirilmeden önce delikli tepsi çukurun üzerinden alınır. Kazılmış olan zemin, özenle toplanır 1 g duyarlılıkla tartılır

5.3.1.5.2.b Kohezyonsuz, ince ve orta daneli zeminler için

Çelik numune alıcı (Şekil 24), üst ucu düzlenmiş zemin yüzeyiyle bir düzeye gelene kadar düzgün bir biçimde zemine itilir. Numune alıcının içinde kalan zemin uygun cihazlarla 11 cm derinliğe kadar kazılır. Kazılan zemin özenle toplanıp 1 g doğrulukla tartılır (M). Deneyin tamamlanabilmesi için numune alıcı, yerinde bırakılmalıdır.

5.3.1.5.3 Kazılan zemin, özelliğini temsil eden- bir numune alınıp, hava geçirmez bir kaba konur ve Deney 1 yardımıyla su muhtevası ölçülür. Değişik bir yol da kazılan zeminin tamamını etüvde kurutup tartmaktır (M_k)

5.3.1.5.4 Boşaltma silindiri Madde 5.3.1.4.1.1'de belirtilen değişmez (M_1) kütleyle gelene kadar kumla doldurulup, merkezleri bir eksene gelecek biçimde, çukurun üzerine kapatılır. Bu işlem sırasında, boşaltma silindirinin kapağı kapalı tutulmalıdır. Bundan sonra kapak açılıp kumun çukura akması sağlanır. Kumun akışı sırasında boşaltma silindirini veya çevredeki zemini herhangi bir biçimde sarsmamak gerekir. Kumun akışı durunca, silindirin kapağı kapatılır. Boşaltma silindiri alınıp 1 g duyarlılıkla tartılır (M_4).

5.3.1.6 Hesaplamalar

5.3.1.6.1 Kalibrasyon kabını doldurmak için gereken kumun kütlesi (M_a), aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$M_a = M_1 - M_3 - M_2 \quad (\text{g})$$

Burada;

M_1 Boşaltma silindiri ile içindeki kumun, kalibrasyon kabına kum akıtılmadan önceki kütlesi, (g),

M_3 Boşaltma silindiri ile içindeki kumun, kalibrasyon kabına kum akıtıldıktan sonraki ortalama kütlesi, (g),

M_2 Boşaltma silindirinin konik bölümünü dolduran kumun ortalama kütlesi, (g)

dir.

5.3.1.6.2 Kumun yaş birim hacim ağırlığı (γ_s), aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\rho_s = \frac{M_a}{V} \times 9,81 \quad (\text{kN/m}^3)$$

Burada;
V kalibrasyon kabının iç hacmi, (cm³)
dir.

5.3.1.6.3 Kazılan çukuru doldurmak için gereken kumun kütlesi (M_b), aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$M_b = M_1 - M_4 - M_2 \quad (g)$$

Burada;
M₁ Boşaltma silindiri ile içindeki kumun, çukura kum atılmadan önceki kütlesi, (g),
M₄ Boşaltma silindiri ile içindeki kumun, çukura kum akıtıldıktan sonraki kütlesi, (g),
M₂ Boşaltma silindirinin konik bölümünü dolduran kumun ortalama kütlesi, (g)
dir.

5.3.1.6.4 Zeminin tabii birim hacim ağırlığı (ρ_n) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\rho_n = \frac{M}{M_b} \cdot \rho \quad (kN/m^3)$$

Burada;
M Çukurdan çıkarılan zeminin kütlesi, (g),
M_b Çukuru doldurmak için gereken kumun kütlesi, (g),
ρ Kumun yaş birim ağırlığı, (kN/m³)
dir.

5.3.1.6.5 Zeminin kuru birim hacim ağırlığı (γ_k) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\rho_k = \frac{100 \cdot \rho_n}{100 + w}$$

Burada;
w Zeminin su muhtevası, (%)
dir.

Kazılan zeminin tamamı etüve konup kurutulmuş ise, (ρ_k) aşağıdaki eşitlikten de hesaplanabilir:

$$\rho_k = \frac{M_d}{M_b} \rho_s$$

Burada;
M_d Kazılan zeminin kuru kütlesi, (g),
M_b Çukuru doldurmak için gereken kumun kütlesi, (g),
ρ_s Kumun yaş birim ağırlığı, (kN/m³)
dir.

5.3.1.7 Sonuçların gösterilmesi

Zeminin kuru birim hacim ağırlığı, kN/m³ olarak en yakın 0,01 hanesine yuvarlatılarak ve zeminin su muhtevası % olarak en yakın 0,1 hanesine yuvarlatılarak verilir.

Sonuçların elde edilme metodu "Küçük boşaltma silindiri metodu" biçiminde belirtilmelidir.

5.3.1.8 Notlar

Not 1 - Havadaki nem değişiklikleri, kumun su muhtevası ve dolayısıyla yaş birim kütleyi etkilediği için günlük çalışma sırasında en az bir defa kalibrasyonu denetlemek gerekir. Aynı tür malzemenin değişik bölümlerindeki dane çapı dağılımı ve dane biçimi ayırımından doğabilecek hataları önlemek için boşaltma silindirini yeniden her dolduruşta, içine konan kumun birim kütlesi ayrıca saptanmalıdır.

Not 2 - Deney 10 için Çizelge 17'de verilen form kullanılabilir.

Çizelge 17 - Zemin yerine kum doldurma metodu (ince ve orta daneli zeminler için küçük boşaltma silindiri metodu) için deney formu

Lâboratuvar no		Deney başlangıç tarihi	
Gönderen veya ilgili		Deney bitiş tarihi	
Ait olduğu proje		Deney standardı	
Kuyu/sondaj no		Kalıbın hacmi, V_c , cm^3	
Numune no		Deneyi yapan	
		Kontrol eden	

Numune no					
Numune alıcı + yaş numune kütlesi, M_s , g					
Numune alıcının kütlesi, M_c , g					
Yaş numune kütlesi, $M_s - M_c$, g					
Zeminin yaş birim kütlesi, $\rho_n = \frac{M_s - M_c}{V_c} \times 9,81$, kN/m^3					
Kap no					
Su muhtevası, w , %					
Zeminin kuru birim kütlesi, $\rho_k = \frac{100\rho_n}{1+w}$, kN/m^3					

5.3.2 Deney 11: Zemin yerine kum doldurma metodu (ince, orta ve iri daneli zeminler için büyük boşaltma silindiri metodu)**5.3.2.1 Genel**

Bu deney, içinde taş bulunduğu için Deney 10'un uygulanması güç olan tabii veya sıkıştırılmış zeminde, kuru birim kütlenin yerinde belirlenmesi ile ilgilidir. İnce ve orta daneli zeminlerde, Deney 10 yerine uygulanabilir ve 15 cm'yi aşan ancak 25 cm'den kalın olmayan tabakalarda Deney 10 yerine uygulanması zorunludur. Bu metod, aynı zamanda yollarda taban malzemesi olarak kullanılacak zeminlerin birim hacim ağırlığının ölçümünde de kullanılabilir.

5.3.2.2 Cihazlar

Boşaltma silindiri, önemli ayrıntıları Şekil 25'tekine benzeyen,

Zeminde küçük çukurlar açmaya yarayan cihazlar, örneğin Şekil 21'dekine benzer bir çukur açma cihazı, büyük bir tornavida veya yaklaşık olarak 25 cm uzunluğunda, (8 - 10) mm çapında, sivri uçlu, tahta saplı çelik bir çubuk,

Kalibrasyon kabı, Şekil 26'da gösterilen türde, silindir biçimli, metal, iç çapı 20 cm, iç derinliği 25 cm olan ve ağzının çevresinde 7,5 cm eninde, 4,5 mm kalınlığında, bir kenarı bulunan,

Terazi, 1 g doğrulukla tartma yapabilen,

Cam bir plâka, kenar uzunluğu 45 cm, derinliği 5 cm olan kare biçiminde, veya

Herhangi bir düz yüzey,

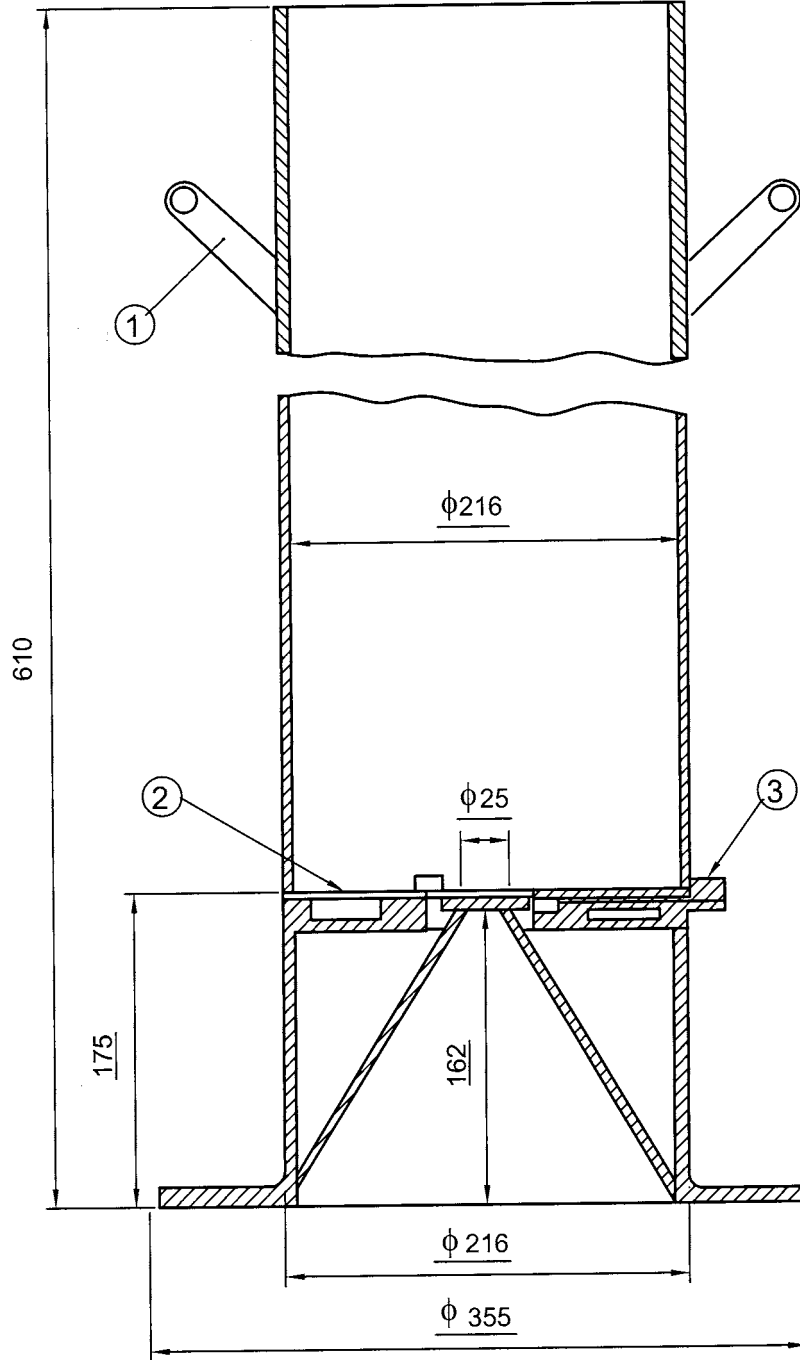
Metal kaplar, kazılan zemini ve boşaltma silindirine doldurulacak kumu koymaya yarayan,

Metal bir tepsi, kenar uzunluğu 46 cm, derinliği 5 cm olan ve ortasında 20 cm çapında bir deliği bulunan, kare biçiminde.

Elek, 600 μm (veya 630 μm), 300 μm (315 μm)

Ayrıca, su muhtevasının tayini için Deney 1'de belirtilen cihazlar.

Ölçüler mm'dir.

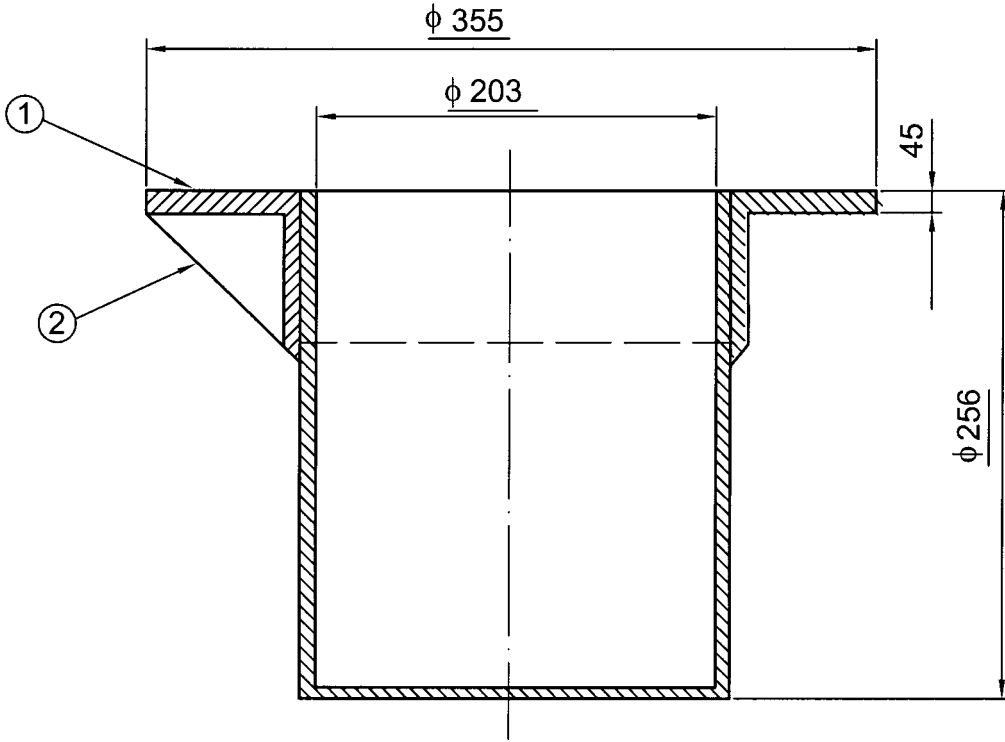
**Açıklamalar**

- 1 Kulp
- 2 Kapağın üst plâkası
- 3 25 mm çapındaki bir deliği ve açılıp kapanabilen kapak düzeneği olan

Not - Mecburî boyutların altı çizilmiştir

Şekil 25 - İnce, orta ve iri daneli zeminlerin kuru birim ağırlığını ölçmekte kullanılan büyük boşaltma silindiri

Ölçüler mm'dir.

**Açıklamalar**

- 1 Düz yüzey
2 Destekleyici plâka

Not - Mecburî boyutların altı çizilmiştir

Şekil 26 - Büyük boşaltma silindiri ve bakkal küreğiyle doldurma metotlarında kullanılacak kalibrasyon kabı

5.3.2.3 Malzeme

Yıkanmış tabii kum, 600 µm elekten geçip 300 µm elekte kalan içinde, organik madde, bulunmayan, etüvde kurutulup su muhtevası, havadaki nemle dengeye gelene, kadar (yaklaşık bir hafta) bekletilmiş bir malzeme.

5.3.2.4 Cihazın kalibre edilmesi**5.3.2.4.1 Boşaltma silindirinin konik bölümünü dolduran kum miktarının tayini**

5.3.2.4.1.1 Boşaltma silindirine, belirli kütlede (M_1) kum doldurulur. Kalibrasyonun kullanılacağı deneylerde bu miktar değiştirilmemelidir. Kazılan zeminin hacmine yakın (veya kalibrasyon silindirinin hacmine eşit) bir miktar kum dışarıya akıtılır. Bundan sonra, boşaltma silindirinin kapağı kapatılır ve cihaz, cam bir plâka gibi düz bir yüzey üzerine oturtulur.

5.3.2.4.1.2 Boşaltma silindirinin kapağı açılıp kumun alta akması sağlanır. Kumun akışı sırasında, boşaltma silindirini herhangi bir biçimde sarsmamak gerekir. Kumun akışı durunca, silindirinin kapağı kapatılıp cihaz, kum yığını üzerinden özenle alınır.

5.3.2.4.1.3 Boşaltma silindirinin konik bölümünü doldurmuş olup düz yüzey üzerinde yığılı kalan kum, toplam kütlelerin %1'ine eşit bir duyarlılıkla tartılır.

5.3.2.4.1.4 Yukarıdaki işlem en az üç kez tekrarlanır ve konik bölümü doldurmak için gereken kumun ortalama kütle (M_2) bulunur.

5.3.2.4.2 Kumun yaş birim hacim ağırlığının bulunması

5.3.2.4.2.1 Kalibrasyon kabını doldurmaya yeten suyun kütlesinden, bu kabın iç hacmi (V) bulunur

5.3.2.4.2.2 Boşaltma silindiri Madde 5.3.2.4.1'de önceden belirlenen (M_1) kütlesinde kumla doldurulduktan sonra, merkezleri bir eksene gelecek biçimde kalibrasyon kabının üzerine yerleştirilir. Bu işlem sırasında, boşaltma silindirinin kapağı kapalı tutulmalıdır. Bundan sonra, kapak açılıp kumun alta akması sağlanır. Kumun akışı sırasında, boşaltma silindirini herhangi bir biçimde sarsmamak gerekir. Kumun akışı durunca, silindirinin kapağı kapatılır. Boşaltma silindiri alınıp içinde kalan kum, başlangıçtaki kütlesinin % 0,1'ine eşit bir duyarlılıkla tartılır (Madde 5.3.2.8 Not 1).

5.3.2.4.2.3 Yukarıdaki işlem en az üç defa tekrarlanır ve boşaltma silindirinin içinde kalan kumun ortalama kütlesi (M_3) bulunur.

5.3.2.5 Zeminin yaş birim kütlenin bulunması

5.3.2.5.1 İncelenecek zeminin düz bir kesiminde, kenar uzunluğu yaklaşık olarak 60 cm olan kare biçiminde bir alan, temizlenip düzlenir.

5.3.2.5.2 Zeminde, çapı yaklaşık olarak 20 cm ve derinliği 25 cm'yi aşmamak üzere, incelenen katmanın kalınlığına eşit bir çukur açılır (Madde 5.3.2.8 Not 2). Çukurun içinde gevşek malzeme kalmamasına özen gösterilmelidir. Ortasında deliği olan metal tepsi, açılan çukurun üzerine yerleştirilir ve tepsinin deliği kılavuz olarak kullanılarak çukurun çapı genişletilir. Kum boşaltma silindiri çukurun üzerine yerleştirilmeden önce delikli tepsi çukurun üzerinden alınmalıdır. Kazılmış olan zemin, özenle toplanıp, toplam kütlenin % 0,1'ine eşit bir duyarlılıkla tartılır (M_w).

5.3.2.5.3 Kazılan zeminin yansıtan bir numune alınıp hava geçirmez bir kutuya konur ve Deney 1 yardımıyla su muhtevası (w) ölçülür.

5.3.2.5.4 Kum boşaltma silindiri, Madde 5.3.2.4.1.1'de belirlenen (M_1) kütlesinde kumla doldurulup merkezleri bir eksene gelecek biçimde, çukurun üzerine kapatılır. Bu işlem sırasında boşaltma silindirinin kapağı kapalı tutulmalıdır. Bundan sonra, kapak açılıp kumun çukura akması sağlanır. Kumun akışı sırasında, boşaltma silindirini veya çevredeki zemini herhangi bir biçimde sarsmamak gerekir. Kumun akışı durunca, silindirinin kapağı kapatılır. Boşaltma silindiri alınıp içinde kalan kum, başlangıçtaki kütlesinin % 1'ine eşit bir duyarlılıkla tartılır (M_4) (Madde 5.3.2.8 Not 4).

5.3.2.6 Hesaplamalar

5.3.2.6.1 Kalibrasyon kabını doldurmak için gereken kumun kütlesi (M_a) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$M_a = M_1 - M_3 - M_2 \quad (g)$$

Burada;

M_1 Boşaltma silindirinin içindeki kumun kalibrasyon kabına kum akıtılmadan önceki kütlesi, (g),

M_2 Boşaltma silindirinin içindeki kumun, kalibrasyon kabına kum akıtıldıktan sonraki ortalama kütlesi, (g),

M_3 Boşaltma silindirinin konik bölümünü dolduran kumun ortalama kütlesi, (g)

dir.

5.3.2.6.2 Kumun yaş birim hacim ağırlığı (ρ_s) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\rho_s = \frac{M_a}{V} \times 9,81 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

V Kalibrasyon kabının iç hacmi

dir.

5.3.2.6.3 Kazılan çukuru doldurmak için gereken kumun kütlesi (M_b), aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$M_b = M_1 - M_4 - M_2$$

Burada;

- V_1 Boşaltma silindirinin içindeki kumun, çukura kum akıtılmadan önceki kütlesi, (g),
 M_4 Boşaltma silindirinin içindeki kumun, çukur» kum akıtıldıktan sonraki kütlesi, (g),
 M_2 Boşaltma silindirinin konik bölümünü dolduran kumun ortalama kütlesidir, (g)
dir.

5.3.2.6.4 Zeminin tabii birim hacim ağırlığı (ρ_n), aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\rho_n = \frac{M_n}{M_b} \cdot \rho \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

- M_n Çukurdan çıkarılan zeminin kütlesi, (g),
 M_b Çukuru doldurmak için gereken birim kütlesi (g),
 ρ Kumun yaş birim hacim ağırlığı, (kN/m³)
dir.

5.3.2.6.5 Zeminin kuru birim ağırlığı (ρ_k), aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\rho_k = \frac{100\rho}{100 + w} \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

- w Zeminin su muhtevası, (%)
dır.

5.3.2.7 Sonuçların gösterilmesi

Zeminin kuru birim hacim ağırlığı, kN/m³ olarak en yakın 0,01 yakınlığa yuvarlatılarak ve zeminin su muhtevası % olarak en yakın 0,1 yakınlığa yuvarlatılarak verilir.

Sonuçların elde edilme metodu "Büyük boşaltma silindiri metodu" biçiminde belirtilmelidir.

5.3.2.8 Notlar

- Not 1** - Boşaltma silindirinin kaldırılmasıyla konik bölümden taşacak kumun kaybını önlemek için deneyin bu kademesinde kalibrasyon kabı oldukça geniş bir tepsi içine oturtulmalıdır.
- Not 2** - Havadaki nem değişiklikleri, kumun su muhtevasını ve dolayısıyla yaş birim kütlesini etkilediği için günlük çalışma sırasında en az bir defa kalibrasyonu denetlemek gerekir. Aynı tür malzemenin değişik bölümlerindeki dane çapı dağılımı ve dane biçimi ayırımından doğabilecek hataları önlemek için boşaltma silindirini yeniden her dolduruşta, içine konan kumun birim kütlesi ayrıca bulunmalıdır.
- Not 3** - Çukurun kazılmasında, çukurun kenarını dayanak olarak kullanıp kazı aletini zorlamamağa özen gösterilmelidir. Yoksa bu davranış, elde edilen birim kütlenin gerçek değerinden düşük olmasına yol açacaktır.
- Not 4** - Sonuçların doğruluk derecesi: Zeminlerde kuru birim kütlenin bir noktadan ötekine oldukça çok değiştiğini göz önünde bulundurarak, deneyi birkaç defa tekrarlayıp sonuçların ortalamasını almak gerekir. Deney sayısı, son yapılan deneyin ortalamaya önemli bir etkisi olmayacak biçimde seçilmelidir.

5.3.3 Deney 12: Numune alıcı metodu (taşsız, killi veya tebeşirli zeminler için)

5.3.3.1 Genel

Bu deney, tabii veya sıkıştırılmış zeminde, birim hacim ağırlığının yerinde tayini ile ilgilidir (Madde 5.3.3.6 Not 1).

5.3.3.2 Cihazlar

Numune alıcı, Şekil 24'te gösterilen yüksekliği 13 cm iç çapı 10 cm et kalınlığı 3 mm olan, bir ucu kesici silindirik çelik,

Çelik başlık, yüksekliği 2,5 cm, iç çapı 10 cm, et kalınlığı 6 mm olan, numune alıcının üst ucuna takılmasını sağlayacak bir girintisi bulunan, (Şekil 24),

Çelik tokmak, Şekil 24'te gösterilen türde,

Terazi, 1 g doğrulukla tartma yapabilen,

Palet bıçağı, B tipi,

Kumpas,

Kazma ve kürek,

Çelik bir cetvel, yaklaşık 30 cm uzunluğunda, 2,5 cm genişliğinde ve 3 mm kalınlıkta, bir kenarı şevli.

Ayrıca, su muhtevasının tayini için Deney 1 de belirtilen cihazlar.

5.3.3.3 Deneyin yapılışı

5.3.3.3.1 Numune alıcının iç hacmi (V_c), ölçülen boyutlarından cm^3 olarak hesaplanır.

5.3.3.3.2 Numune alıcı 1 g duyarlılıkla tartılır (M_c)

5.3.3.3.3 İncelenecek zeminin düz bir kesiminde, kenar uzunluğu yaklaşık olarak 30 cm olan kare biçiminde küçük bir alan temizlenip düzlenir. Numune alıcı, başlığı takılı olarak, tokmakla zemine çakılır. Çakma işlemi, başlığın ancak 13 mm'lik bir kesimi zeminin dışında kalana kadar sürdürülür. Bu işlem sırasında numune alıcının düşeyden sapmamasına özen gösterilmelidir. Derinliği daha az olan bir tabakanın ortalama birim hacim ağırlığı isteniyorsa, yüksekliği bu derinliğe eşit olan bir numune alıcı kullanılmalıdır. Numune alıcı, çevresindeki zemin kazılarak ve zeminin numune alıcının altından bir miktar taşması sağlanarak çıkarılır. Bundan sonra, numunenin iki ucu, numune, alıcının uçlarıyla bir düzlemde olacak biçimde, şevli cetvelle düzlenir.

5.3.3.3.4 Numune alıcı, içindeki numune ile birlikte 1 g duyarlılıkla tartılır (M_s).

5.3.3.3.5 Numune, numune alıcıdan çıkarılıp ufalanır, zemini yansıtan bir numune alınıp hava geçirmez bir kutuya konur ve Deney 1 yardımıyla su muhtevası (w) ölçülür.

5.3.3.4 Hesaplamalar

5.3.3.4.1 Zeminin tabii birim hacim ağırlığı (ρ_n) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır.

$$\rho_n = \frac{M_s - M_c}{V_c} \times 9,81 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

M_s Numune alıcı ve içindeki numunenin kütlesi, (g),

M_c Numune alıcının kütlesi, (g),

V_c Numune alıcının iç hacmi, (mL)

dir.

5.3.3.3.2 Zeminin kuru birim hacim ağırlığı (ρ_k) aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\rho_k = \frac{100\rho_n}{100 + w} \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

w Zeminin su muhtevası, (%),
dır.

5.3.3.5 Sonuçların gösterilmesi

5.3.3.5.1 Zeminin kuru birim hacim ağırlığı, kN/m^3 olarak en yakın 0,01 yakınlığa yuvarlatılarak verilir.

5.3.3.5.2 Zeminin su muhtevası % olarak en yakın 0,1 yakınlığa yuvarlatılarak verilir.

5.3.3.5.3 Sonuçların elde edilme metodu "Numune alıcı metodu" biçiminde belirtilmelidir.

5.3.3.6 Notlar

Not 1 - Bu deney, zemin yerine kum doldurma metodu kadar güvenilir sonuçlar vermeyebilir ve daha çabuk sonuç almak gerektiği veya zeminin iyi sıkışmış olmakla birlikte numune alıcının kolayca çakılabilmesini sağlayacak yumuşaklıkta olduğu durumlar dışında kullanılmaması yerinde olur.

Not 2 - Deney 12 için Çizelge 17'de verilen form kullanılabilir.

5.3.4 Deney 13: Balon metodu

5.3.4.1 Genel

Bu deney ince daneli veya taş ihtiva etmeyen sıkıştırılmış dolgular deney sırasında doğacak basınçlarla şekil değiştirmeyecek tabii zeminlerin birim hacim ağırlığının yerinde ölçümü ile ilgilidir. Deney bu nedenle organik, doymuş ve çok yüksek plâstisiteli zeminleri kohezyonsuz ya da iri daneli keskin köşeli ortamda uygulanmaz.

5.3.4.2 Cihazlar

Balonlu hacim şişesi, metal muhafazalı bir hacim şişesi ile hacim ölçmede kullanılacak lâstik balonu doldurup boşaltacak pompa sisteminden oluşan. Cihazın deney yapıldığı, sırada zemini şekil değiştirmeye zorlayacak kadar ağır olmaması esastır. Cihazın ana özellikleri Şekil 27'de gösterilmiştir. Şişenin üstündeki bölmeler deney çukurunun hacmini en yakın % 1'e ölçecek incelikte olacak balon buruşmadan çukuru doldurup bu işlem için gerekli, basınçtan patlamayacak bir malzemeden yapılacaktır. Pompa sistemi hacim şişesine hava basıncı uygulayarak balonu şişirecek ölçüm yapıldıktan sonra da vakum uygulayarak su geriye çekecek nitelikte olmalıdır. Genellikle 1 L kapasitede hacim şişesi, yeterli ise de zeminin iri daneler ihtiva etmesi, durumunda daha büyük hacimli şişeler kullanılabilir.

Taban plâkası, balon cihazının zemine oturtulması için. Cihanın tabanına uyacak biçimde hazırlanan ve boyutları deney deliği çapının en az iki katı olan,

Teraziler, 1 g ve 0,1 g doğrulukla tartma yapabilen, iki adet,

Çorba kaşığı, deney deliğini açmak için Şekil 21'de gösterilen,

Termometre, 0,5 °C duyarlıklı,

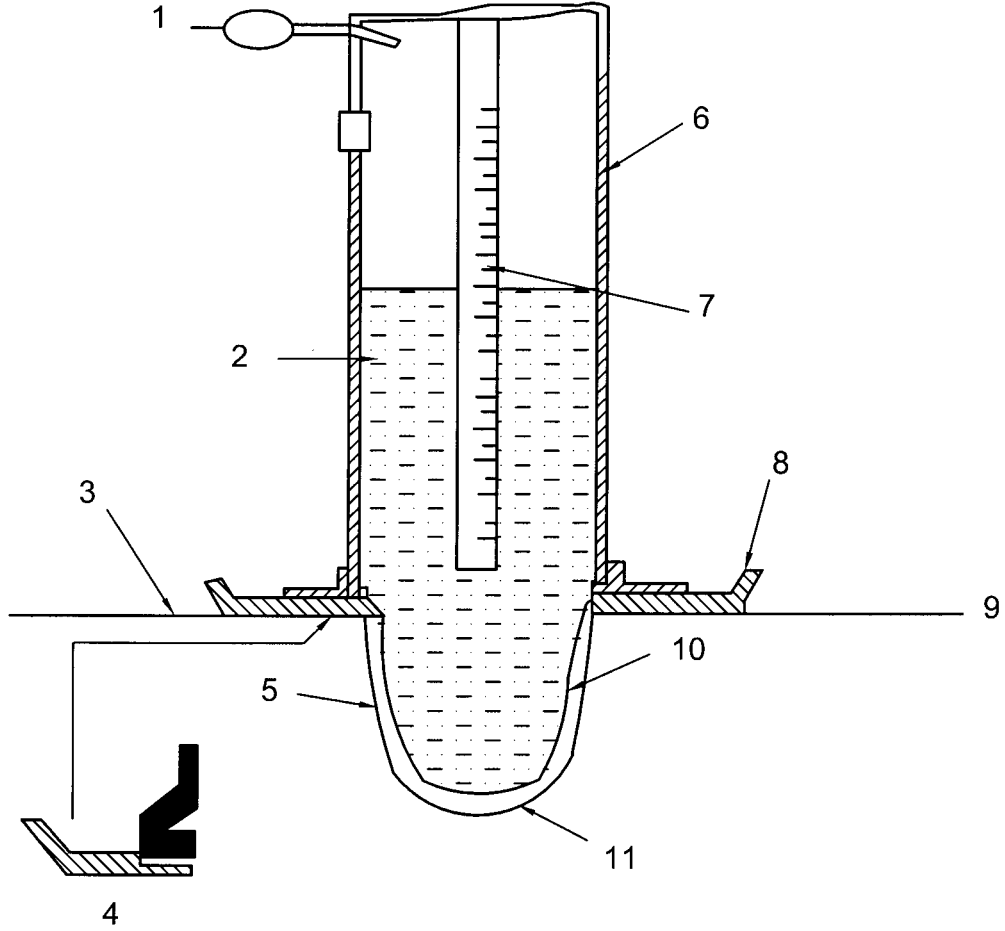
Cam levha, 6 mm kalınlığında,

Gres yağı

Ayrıca, su muhtevasını tayini için Deney 1'de gösterilen cihazlar.

5.3.4.3 Kalibrasyon işlemleri

5.3.4.3.1 Hacim ölçer cihazın doğru değerler gösterdiğini kontrol için hacmi tam olarak bilinen farklı büyüklükteki kalıplarda kontrol yapılmalıdır. Kalıpların hacmini bulmak için cam plâka greslendikten sonra kalıp ve camın kütlesi en yakın grama kadar tartılır, Sonra kalıp suyla doldurulur ve cam plâka altta hava kabarcıkları kalmayacak şekilde kalıbın ağzına kaydırılır ve tamamı tartılır. Bu sırada suyun sıcaklığı da ölçülür. Buradan kalıbın hacmi Madde 5.3.4.5'te verilen eşitlikle hesaplanır. Bu işlem her kalıp için aradaki fark 2 cm^3 'ü geçmeyen değerler elde edilene kadar tekrarlanır.

**Açıklama**

1	Pompa	7	Hacim göstergesi
2	Sıvı	8	Taban plâkası
3	Deney yüzeyi	9	Zemin yüzeyi
4	Taban plâkası detayı	10	Lâstik balon
5	Açılan çukur	11	Pompanın uyguladığı basınçla dolacak boşluk
6	Hacim şişesi		

Şekil 27 - Balon cihazının şematik kesiti

5.3.4.3.2 Balonlu hacim ölçer cihazı ve taban plâkası düzgün ve yatay bir yüzey üzerine yerleştirilir. Normal bir basınç uygulanarak hacim göstergesinde ilk okuma alınır. Sonra cihaz kontrol kalıplarından birinin üzerine oturtularak aynı su basıncı ile hacim okuması alınır. Hacim okuması pompalamaya rağmen su düzeyinde değişme olmadığı noktada yapılır, pompa basıncı 0,35 kg/cm²'yi aşmamalıdır. Bu sırada cihazın yerinden oynamaması için elle bastırmak gerekir. Kalıp hacmi son ve ilk okumalar arasındaki farktır. İşlem diğer kalıplar için tekrarlanır. Kalibrasyon tüm hacim okumaları için ölçülen ve ekte gösterilen değerler arasındaki, fark % 1'i geçmediği zaman tamamlanmış sayılır.

5.3.4.3.3 Kalibrasyon işlemi belirli aralıklarla, lâstik balon değiştirildiğinde ve gerekli görülen zamanlarda tekrarlanır.

5.3.4.4 Deneyin yapılışı

5.3.4.4.1 Birim hacim ağırlık tayini yapılacak yer temizlenip, yataya yakın biçimde düzlenir.

5.3.4.4.2 Ölçüm cihazı ve plâka yüzeye oturtulduktan sonra anlatılan biçimde ilk hacim okuması alınır. Taban plâkası deneyin başından sonuna kadar yerinden kaldırılmaz.

5.3.4.4.3 Hacim şişesi plâka üzerinden kaldırılır. Kazı cihazlarını kullanarak uygun hacimde bir çukur açılır. Çukurun en küçük hacmi ($V_{En\ küçük}$), zeminin en büyük dane çapına ($D_{En\ büyük}$) bağlı olup Çizelge 18'de gösterilmiştir.

Çizelge 18 - Farklı zeminlerde çukur hacmi

$D_{En\ büyük}$ (mm)	$V_{En\ küçük}$ (cm ³)
5	1150
20	1700
40	2850

Çukurun kazılması sırasında daha iri danelerle karşılaşılırsa deney yeni bir noktaya kaydırılmalıdır. Zeminin 40 mm'den iri daneler ihtiva etmesi durumunda bu ölçüm metodu kullanılmaz. Balonu patlatacak sivrilikte taş parçaları ölçüm yapılmadan çukur yüzeyinden arındırılmalıdır.

5.3.4.4.4 Çukur oluşturulduktan sonra hacim şişesi plâka üzerine yeniden oturtulur ve kalibrasyonda uygulanan basınçlar uygulanarak hacim okuması alınır. Bu okuma ve çukur kazılmadan önceki okuma arasındaki fark deney çukurunun hacmini (V_h) verir.

5.3.4.4.5 Çukurdan çıkan nemli toprağın kütlesi en yakın grama kadar tartılır ve bunun içinden su muhtevası tayini için numune alınır ve Deney 1'e göre deneye tâbi tutulur.

5.3.4.5 Hesaplamalar

5.3.4.5.1 Kalibrasyon kalıplarının hacmi aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$V = \frac{M_2 - M_1}{\rho_w} \times 9,81 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

- V Kalıp hacmi, (cm³),
 M_2 Kalıp, cam ve suyun kütlesi, (g),
 M_1 Kalıp ve camın kütlesi, (g),
 ρ_w Suyun yoğunluğu, (EK A)
 dır.

5.3.4.5.2 Zeminin yerinde birim hacim ağırlığı ρ_n aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\rho_n = \frac{M}{V_n} \times 9,81 \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

M Zeminin ıslak kütlesi, (g),

V_n Çukurun hacmi, (cm³)

dir.

5.3.4.5.3 Zeminin kuru birim hacim ağırlığı (ρ_k) ise aşağıdaki eşitlikten hesaplanır:

$$\rho_k = \frac{100\rho_n}{100 + w} \text{ (kN/m}^3\text{)}$$

Burada;

ρ_n Zeminin ölçülmüş doğal birim hacim ağırlığı, (kN/m³),

w Zeminin su muhtevası, (%)

dir.

5.3.4.6 Sonuçların gösterilmesi

Deneyin sonuçları bir formda rapor edilecek ve şu özellikler bildirilir:

- 1) Deney yeri ve denizden yüksekliği,
- 2) Deney çukuru hacmi,
- 3) Doğal birim hacim ağırlığı,
- 4) Su muhtevası,
- 5) Zeminin kuru birim hacim ağırlık,
- 6) Zeminin görünüşü cinsi,
- 7) Gerekliyorsa iri daneler için yapılmış düzeltme

Yararlanılan kaynaklar

- ASTM Vol. 04.08 Annual Book of American Society for Testing and Materials (ASTM) Standards. Section 4: Construction. Volume 04.08: Soil and Rock (I).
- BS 1377 British Standard Methods of test for “Soils for civil engineering purposes”.

Ek A**Suyun yoğunluğu ve viskozitesi**

Suyun çeşitli sıcaklıklardaki yoğunluğu ve viskozitesi aşağıdaki çizelgede verilmiştir.

Sıcaklık, t °C	μ_w $\times 10^{-6}$ Nsm	ρ_w g/cm ³	Sıcaklık °C	μ_w $\times 10^{-6}$ Nsm	ρ_w g/cm ³
0,0	1,7921	0,99987	18,0	1,0559	0,99862
0,5		0,99990	18,5		0,99853
1,0	1,7313	0,99993	19,0	1,0299	0,99843
1,5		0,99995	19,5		0,99833
2,0	1,6278	0,99997	20,0	1,0050	0,99823
2,5		0,99998	20,5		0,99812
3,0	1,6191	0,99999	21,0	0,9810	0,99802
3,5		1,00000	21,5		0,99791
4,0	1,5674	1,00000	22,0	0,9579	0,99780
4,5		1,00000	22,5		0,99768
5,0	1,5188	0,99999	23,0	0,9358	0,99757
5,5		0,99998	23,5		0,99745
6,0	1,4728	0,99997	24,0	0,9142	0,99732
6,5		0,99995	24,5		0,99720
7,0	1,4284	0,99993	25,0	0,8937	0,99707
7,5		0,99990	25,5		0,99694
8,0	1,3860	0,99988	26,0	0,875	0,99681
8,5		0,99984	26,5		0,99668
9,0	1,3462	0,99981	27,0	0,855	0,99654
9,5		0,99977	27,5		0,99640
10,0	1,3077	0,99973	28,0	0,836	0,99626
10,5		0,99968	28,5		0,99612
11,0	1,2713	0,99963	29,0	0,818	0,99597
11,5		0,99958	29,5		0,99582
12,0	1,2363	0,99952	30,0	0,800	0,99567
12,5		0,99947	30,5		0,99553
13,0	1,2028	0,99940	31,0	0,783	0,99537
13,5		0,99934	31,5		0,99521
14,0	1,1709	0,99927	32,0	0,767	0,99506
14,5		0,99920	32,5		0,99490
15,0	1,1404	0,99913	33,0	0,751	0,99473
15,5		0,99905	33,5		0,99457
16,0	1,1111	0,99897	34,0	0,736	0,99440
16,5		0,99889	34,5		0,99423
17,0	1,0828	0,99880	35,0	0,731	0,99406
17,5		0,99871	35,5		0,99389