

DENEY FÖYLERİ

ELEK ANALİZİ DENEYİ

Zemin malzemelerin tane boyu dağılımı, iyi derecelenmiş ve iyi derecelenmemiş olarak tanımlanır. Sedimantolojideki tanımlama ile mühendislikteki tanımlamaların amaçları değişik olduğundan, her birindeki tanımlamalar da değişiktir. Mühendislikte iyi derecelenmiş bir malzeme heterojendir ve her tane boyundan (çakıl, kum, kil, silt) az çok eşit oranda içermektedir. Sedimantolojide boylanma kullanılır. İyi boylanmış bir malzeme homojendir ve malzemeyi oluşturan taneler yaklaşık eşit boydadır.

Zeminlerin tane boyutlarının saptanması, zemin sınıflandırılmasında, üniformluk ve derecelenme katsayılarının belirlenmesinde, zemin mekaniğinde, barajlarda çekirdek ve filtre malzemelerinin seçilmesinde önemlidir. Ayrıca, bir topraktaki tanelerin (çakıl, kum, silt, kil) yüzde miktarlarının belirlenmesi; toprağın diğer mühendislik özellikleri hakkında da önemli bilgiler edinilmesini sağlamaktadır. Bu özellikler; porozite, hidrolik iletkenlik, su tutma özellikleri, direnç/dayanım özellikleri, vb. dir. Herhangi bir zemin malzemesinin tane boylarının ve bu değişik boydaki tanelerin ağırlık oranlarını saptamak için yapılan çözümlemelere “elek çözümlmeleri” denir. Bu ise, iri elek çözümlmesi ve ince elek çözümlmesi diye iki evrede yapılır. Ayrıca, kil ve silt boyu tanelerin saptanması için de yaş çözümleme (hidrometre çözümlmesi) yapılır (Şekil 1). Elek ve hidrometre çözümlmeleri sonucunda malzemeyi oluşturan değişik boylardaki tanelerin ağırlık olarak yüzde miktarları belirlenir ve yarı-logaritmik kağıdın, logaritmik ekseninde “tane boyu”, aritmetik ekseninde ise “yüzde elek altı ağırlıkları” kullanılarak “Tane Boyu Dağılım Eğrisi” çizilir. Bu eğri kullanılarak malzemeyi oluşturan çakıl, kum, kil ve silt miktarları belirlenip, değişik amaçlı kullanımlar için zemin sınıflaması yapılır.

Zeminlerde ince ve iri taneli zeminler karışık olarak bulunabileceği için tane çapları 76,2 mm ile 0,075 mm arasında olan kısım elek analizine tabii tutulurken, çapları 0,075 mm den küçük olan zeminlerde ıslak analiz (hidrometre ve pipet analizi) adı verilen yöntemler kullanılmaktadır.



Şekil 1. Elek seti ve hidrometre görünümü

Granülometri eğrisi belirlenmek istenen zemin kurutulurken değişik çaplardan oluşan bir elek serisinden elenir. Standart olarak kullanılan Almanya ve Amerikan ASTM

standartları tarafından verilen elek serileri bu deney için kullanılmaktadır (Tablo 1). Elek numaraları her bir inch kareye gelen delik sayısını göstermektedir. Örneğin 40 nolu elekte 1 inch karelik alanda 40 delik vardır.

Tablo 1. Almanya ve Amerikan ASTM standartlarında kullanılan elek ve açıklıkları

ASTM		DIN	
Elek No	Elek Açıklığı (mm)	Elek No	Elek Açıklığı (mm)
4	4,75	4	5,00
10	2,00	10	2,00
20	0,85	20	0,800
40	0,425	40	0,400
60	0,250	60	0,250
100	0,150	100	0,200
140	0,106	140	0,100
200	0,075	200	0,071

DENEYDE KULLANILAN ARAÇLAR

Mekanik Ayırıcı

Etüv: 105 °C'lik bir kapasiteye sahip olmalı

Havan: Malzemenin, kümeleşmiş tanelerinin örselemeden ayrıştırılmasında kullanılacak havan ve ucu plastik kaplı tokmak

Elek Sallayıcı: Deneyde kullanılacak elek takımını standart bir hızda sallayacak elektrikli elek sallayıcı

Terazi: 500 gr kapasiteli ve 0,1 gr hassasiyetli olmalı,

Elek Takımı: Deneyde kullanılacak elek takımı aşağıda verilmiştir: Elek No Açıklık (mm)

Hesap makinesi

YÖNTEM

Deneyde kullanılan standart örnek miktarı 450 – 500 gr kadardır. Zemini oluşturan tanelerin miktarı bu deneyde ağırlıklı olarak saptandığı için, zeminin bünyesinde bulunan suyun hesaplamalara dahil edilmesi gerekir. Havada kurutulmuş zeminde, tanelerin etrafını saran ve ince bir film tabakası halinde bulunan su “higroskopik nem” atılamaz. Bunun için, örneğin fırında kurutulması gerekir. Deney için, tüm deney örneğinin kurutulması yerine, deney örneğini temsil eden 50 gr kadar örnek alınarak fırında kurutulup, nem içeriği belirlenebilir ve bu da “Higroskopik Nem Düzeltme Katsayısı” hesaplanır.

Higroskopik Nem Düzeltme Katsayısının Belirlenmesi

- Havada kurutulmuş ve kümeleneşmiş taneleri havan ve ucu lastik tokmak kullanılarak ayrıştırılmış deney örneğinden, mekanik ayırıcı kullanılarak 50 gr örnek alınarak bir kaba konulur. Zemin kap ile birlikte tartılıp not edilir (Kap + Havada kurutulmuş örnek ağırlığı).

- Örnek kap ile birlikte fırına konularak 24 saat süreyle 105 °C’de kurutulur.
- 24 saat sonra örnek fırından alınarak, desikatörde 15 dakika kadar bekletilip soğuması sağlanır ve kap ile birlikte örnek tartılır (Kap + Fırında kurutulmuş örnek ağırlığı).
- Aşağıdaki eşitlik kullanılarak Higroskopik Nem Düzeltme Katsayısı hesaplanır.

$$HDK = \frac{FKA}{HKA}$$

HDK: Higroskopik Nem Düzeltme Katsayısı

FKA: Örneğin Fırında Kurutulmuş Ağırlığı (gr)

HKA: Örneğin Havada Kurutulmuş Ağırlığı (gr)

DENEYİN YAPILIŞI

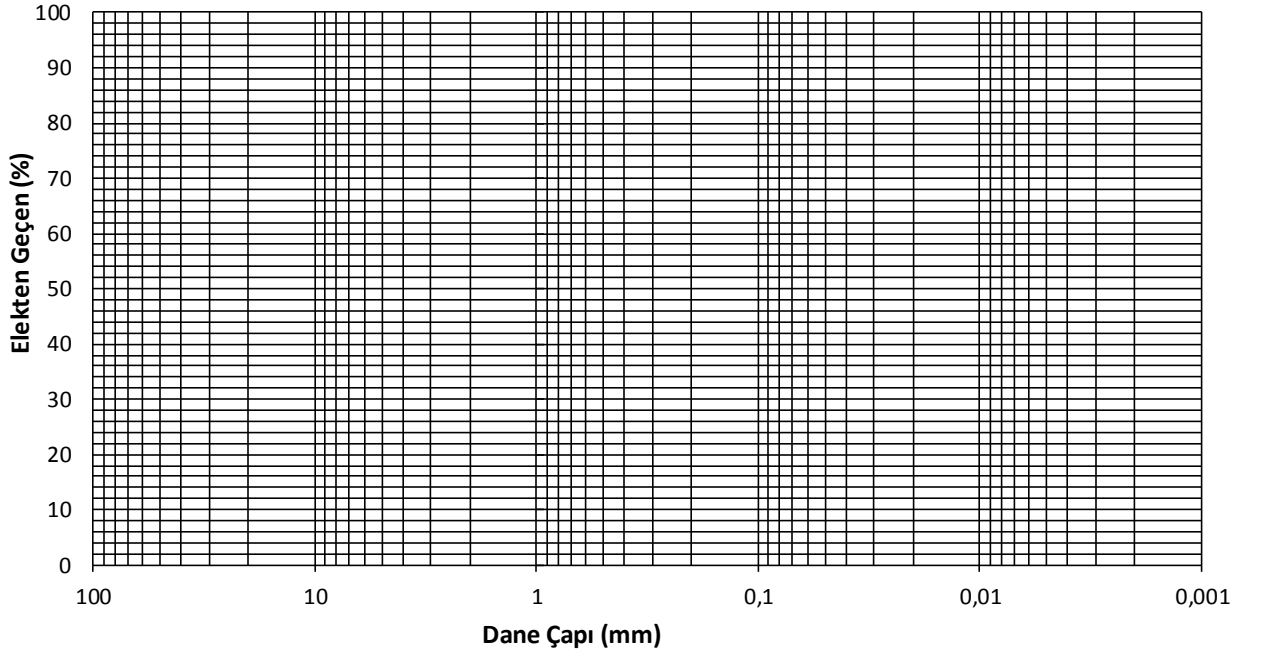
- a) Zemin karıştırılarak ve bir süre beklenerek havada tamamen kurutulur.
- b) Havada kurutulmuş örnekte mekanik ayırıcı kullanılarak 500 gr alınır.
- c) Numune elek takımına konularak 15 dakika sallanır.
- d) Tablo 2’deki gibi bir çizelge hazırlanır.
- e) Sırasıyla önce iri göz açıklıklı elek üzerinde kalan örnek olmak üzere elek üstünde kalan numune eleklerle birlikte tartılıp, elek ağırlığı çıkarılarak her bir elek üzerinde kalan ağırlık bulunur. Aynı işlem diğer tüm elekler için de yapılır.
- f) Sonra elek üzerinde kalan ağırlık, toplam örnek ağırlığından (500 gr) çıkarılarak bu elekten geçen örnek ağırlığı bulunur ve % elekten geçen malzeme hesaplanır. Aynı işlem tüm elekler için tekrarlanır.
- g) Zemin numunesi için hesaplanan elekten geçen yüzde (%) ve dane çapı (elek açıklığı) değerleri granülometri eğrisinde (Şekil 2) çizilerek zemin sınıflaması yapılır.

Not:

- 1) Higroskopik nem düzeltme katsayısının havada kurutulan zemin numunelerine elek analizi yapıldığında uygulanması gerekmektedir. Elenecek tüm malzemenin fırında kurutulması durumunda higroskopik nem düzeltme katsayısı uygulanmaz.
- 2) Elenecek zemin numunelerinde kil - silt oranı fazla olması durumunda yıkamalı eleme denilen yöntem tercih edilebilir. Bu durumda elenecek malzemeler 200 numaralı elek üzerinde yıkanır. Yıkama esnasında iri taneli malzemelerin etrafındaki kil silt boyutlu malzemeler diğer topaklaşmış kil silt türü malzemeler suyla birlikte 200 numaralı elek altında bir kovada toplanır. Kovada toplanan malzemelerin çökmesi için bir süre beklenir. Üstündeki su süzülüp etüvde ya da havada kurumaması sağlanır. Elek üzerinde kalan temiz malzeme yine benzer şekilde etüvde ya da havada kurumaya bırakılır. Bundan sonra yapılacak işlemler yukarıda anlatıldığı gibi yapılır. Sadece eleme esnasında 200 numaralı elek kullanılmaz (Yıkama esnasında kullanıldığı ve zemin elendiği için).

Tablo 2. Elek analizi formu

Elek No	Elek Açıklıkları (mm)	Elek Kütlesi (1)	Elek + Zemin (2)	Her Bir Elekte Kalan (gr) (3)=(2)-(1)	Kümülatif Elek Üstü Kalan (gr) (4)=(3)'ün alt toplamı	Kümülatif Elekten Geçen (gr) (5) = Toplam Malzeme -(4)	Elekten Geçen (%) (6)=(5)/Toplam Malzeme X 100
2"	50,8						
1"	25,4						
3/4"	19,05						
3/8"	9,52						
No:4	4,75						
No:10	2,00						
No:50	0,30						
No:100	0,15						
No:200	0,075						
PAN	-						



Şekil 2. Granülometri eğrisi

LİKİT LİMİT DENEYİ

Likit limit, akıcı durumdaki zeminin plastik duruma dönüştüğü andaki su muhtevasıdır. Bir zemine ait likit limit, yaygın olarak kullanılan iki yöntemle (deneyle) belirlenebilmektedir. Bunlar Casagrande yöntemi ve düşen koni penetrasyon yöntemi olarak adlandırılırlar. Burada Casagrande yöntemi üzerinde durulacaktır.

Casagrande likit limit deney cihazı, pirinçten mamul bir tas şeklindedir (Şekil1). Bu tas, genellikle el ile çevrilen bir kol yardımıyla düzenli olarak ve defalarca yükseltip ebonitten veya sert lastikten yapılan kaidesi üzerine 1cm yükseklikten ($\pm 0,2\text{mm}$) düşürülür.



Şekil 1. Casagrande likit limit tayini cihazı

Casagrande Yöntemi

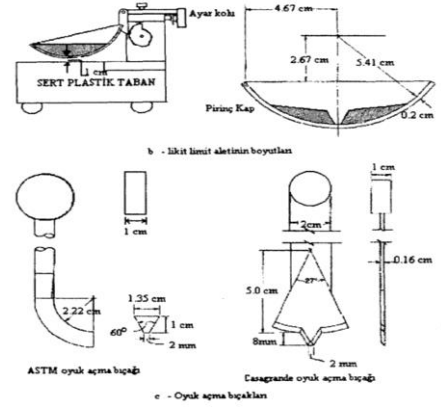
Gerekli Aletler

Deney için gerekli aletler ve Casagrande deney cihazının boyutları ile oyuk açma bıçağının boyutları Şekil 2’de verilmiştir.

Deney için gerekli aletler şunlardır:

- Sert plastik tabanlı standart likit limit deneyi aleti
- Standart oyuk açma bıçağı
- Yarı-logaritmik grafik kağıdı
- Spatula
- Kurutma kabı
- Damıtık su dolu plastik şişe
- Üzerleri numaralandırılmış küçük metal veya cam kaplar
- 110(± 5) °C sıcaklığındaki bir etüv
- 40 numaralı elek ve tava

j) Metal veya plastik bir cetvel



Şekil 2. Casagrande likit limit deneyi için gerekli aletler, cihazın ve oyuk açma bıçağının boyutları

Casagrande Aletinin Ayarlanması

Numune konulan kısmın sert plastiğe düşüş yüksekliğinin 1 cm olması gerekmektedir. Bu yüksekliğin kontrolü için en kesiti kare, 1cm boyutlarında olan standart oyuk açma bıçağının sapı kullanılabilir.

Deney aleti ve oyuk açma bıçağı her deneyden önce temiz, kuru ve çalışır durumda olmalıdır.

Gerekli Ölçümler

- Düşüş sayısı
- Su içeriği

Deney İçin Numunenin Hazırlanması

Likit limiti öğrenilmek istenen zemin kitlesinden, bu kitleyi temsil edebilecek bir miktar alınarak havada kurutulur. Kurutulan zemin 40 numaralı elekten elenerek (Şekil 3) bundan yaklaşık 250-300 gr numune alınır. Numune bir kap içerisine konularak çok az miktarlarda damıtık su kademeli olarak numuneye ilave edilir (Şekil 4) ve her defasında iyice karıştırılır. Numune kabı, hava almaması için plastik bir örtüyle kapatılarak, nem odasına veya desikatör (hava almayan ağzı kapaklı cam kap) içerisine konulur. Burada 24 ya da 48 saat süreyle “kür” için bekletilir.



Şekil 3. 40 numaralı elekten elenen zemin numunesi



Şekil 4. Numuneye damıtık su eklenmesi

Deneyin Yapılışı

Deneye başlamadan önce Casagrande aletinin kontrol edilerek deney için müsait olduğu görülmelidir. Örneğin içerisinde numune konulacak olan tasın sert plastiğe düşüş yüksekliğinin 1cm olup olmadığı kontrol edilmelidir. Aletin deney öncesinde iyice temizlenmesi gereklidir (Şekil 5).



Şekil 5. Casagrande aletinin iyice temizlenmesi

Kürünü tamamlamış olan numune, nem odası veya desikatörden alınarak tekrar spatula ile iyice karıştırılır. Bir miktar daha damıtık su ilave edilir ve karıştırılır (Şekil 6).



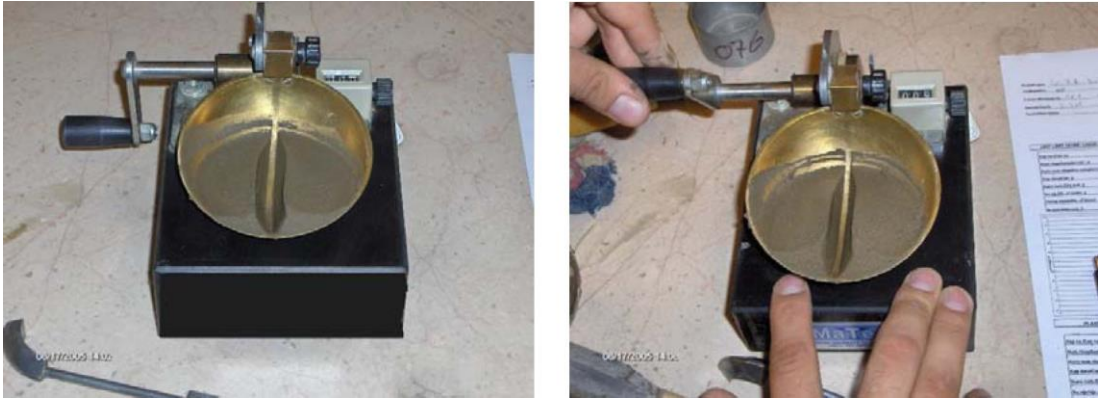
Şekil 6. Numunenin iyice karıştırılması

Casagrande aletinin taşı sert plastiğe oturtularak, içine hazır durumdaki numuneden spatula ile bir miktar alınarak tasın içersine yerleştirilir. Yerleştirme sırasında numunenin içinde hava kabarcıkları kalmamasını özen gösterilir. Tas içerisine yerleştirilen numunenin yüzeyi yatay olacak şekilde düzeltilir. Tas içine yerleştirilen numunenin en kalın kısmı yaklaşık olarak 1 cm olmalıdır (Şekil 7).



Şekil 7. Numunenin tas içine yerleştirilmesi

Tas içerisine yerleştirilen numunenin ortasından standart oyuk açma bıçağı ile bir yarık açılır (Şekil 8). Numune pastasının içerisinde yarık açılırken özen gösterilmeli ve yarığın gayet düzgün olması sağlanmalıdır. Bu işlem oldukça çabuk yapılmalı ve numune pastasının kurumasına müsaade edilmemelidir.



Şekil 8 – 9. Numunede oyuk açma bıçağıyla yarık açılması

Aletin elle çalıştırılan bir türden olması halinde kolu saniyede 2 düşüş yapacak şekilde çevrilmeli ve düşüşler sayılmalıdır. Bu sırada numune pastasının ortasında açılmış olan yarığın tabanındaki kapanma dikkatle izlenmeli ve kapanmanın yaklaşık 1 cm olması durumunda çevirme işlemi durdurulmalıdır (Şekil 9-11). Bu işlemin elektrikli aletle yapılması halinde düşüşlerdeki zaman aralığı ve düşüş sayısı (N) otomatik olarak alet tarafından yapılacağı için sadece yarığın tabanındaki kapanma izlenmeli ve kapanmanın 1 cm olması durumunda alet durdurulmalıdır.



Şekil 10 -11. Yarık açıldıktan ve kapandıktan sonraki durum

Alet durdurulduktan sonra kuru ve temiz bir spatula kullanılarak 1 cm' lik kapanmanın olduğu bölgeden bir miktar numune pastası alınarak küçük metal bir kaba konulur (Şekil 12). 0.01 gr hassasiyetinde bir terazide tartılarak kütlesi kaydedilir ve su içeriğinin belirlenmesi için etüve konulur.



Şekil 12. Bir miktar numunenin etüvde kurutulmak üzere metal kaba alınması

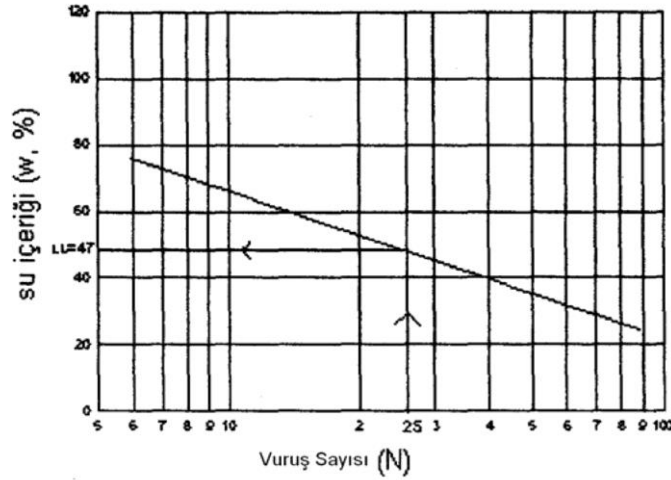
Aletin tasında kalan numune tamamen alınarak önceki kabına konulur. Tas tamamen temizlenir ve kurularak bir sonraki deneye hazır hala getirilir (Şekil 13-14).



Şekil 13 – 14. Kabın bir sonraki deney için iyice temizlenmesi

Kapta bulunan numuneye bir miktar daha damıtık su ilave edilerek iyice karıştırılır ve aynı işlemler tekrarlanır. Deneyler en az artan su içeriğiyle dört kez tekrarlanarak, dört tane düşüş sayısı (N) ve bunlara karşılık gelen su içeriği (w) elde edilmelidir (Şekil15). N değerlerinden iki tanesi 25'den küçük iki tanesi de 25'den büyük olmalıdır. Bu sağlanamamışsa ilave deneyler yapılarak bu koşul yerine getirilmelidir.

Deneylerde numunenin su içeriği sürekli olarak arttırılarak yapılmalıdır. Fazla damıtık su ilave edildiği durumlarda su içeriğinin azaltılması için numuneye bir miktar kuru zemin ekleme yoluna gidilmemelidir.



Şekil 15 Su içeriği - düşüş sayısı ilişkisi ile likit limitin bulunması

Hesaplamalar, Sonuç ve Değerlendirme

Zeminlerin likit limiti, bu deneyde 25 düşüğe karşılık gelen özel bir su içeriğidir. Bu yöntemle 25 düşüğe karşılık gelen su içeriğini tek bir denemede bulabilmek mümkün olmadığı için, en az dört tane düşüş sayısı (N) ve dört tane de su içeriği (w) bulunur. Yatay ekseninde N (düşüş sayısı) ve düşeyde w (su içeriği) olacak şekilde işaretlenerek, elde edilen dört noktadan geçen en uygun düz doğru geçirilir. Eksen takımında N=25 bulunarak doğruyla kestirilir (Şekil 15). Doğruyu kesen yerden su içeriği eksenine bir yatay çizilir. Düşey ekseni kesen su içeriği değeri likit limitidir.

Deneyin rutubetli bir ortamda yapılması ve buharlaşmadan kaçınılması gerekir. Likit limiti, zemin cinsine göre oldukça değişik değerlerdedir.

PLASTİK LİMİT (PL) DENEYİ

Plastik Limit

Zeminin plastik formdan, yarı-katı forma geçtiği sınır su içeriğine plastik limit denilir. Bir miktar zemin su ile yoğrularak çapları 3 mm, uzunlukları 10 cm kadar olan silindirler teşkil edilir. Bunlar, bir buzlu cam veya düz bir fayans üzerinde yuvarlanır. Böylece, kısmen suyunu kaybeden silindirler zeminin plastikliğinin azalması dolayısıyla artık harekette devam edemezler ve muhtelif parçalar halinde kırılmak üzere yarırlılar. Bu haldeki zeminin su muhtevasına plastik limit adı verilir. Zayıf kil için plastik limit, yaklaşık %25'e kadar, yağlı kil için % 30'a kadar, organik zeminler için de % 150' ye kadar çıkar.

Eğer zemin çubuğunun çapı 2 mm'ye düştüğü halde ufalanma meydana gelmiyorsa zeminin henüz plastik olduğu kabul edilerek, bir miktar daha kurutma yapılarak deney tekrarlanır. Görüldüğü gibi bu deney de oldukça sübjektif olup, sonuç deneyi yapan kişiye oldukça bağlıdır.

Plastik Limit Deneyi

Gerekli aletler

- Metel veya cam kaplar
- 0.01 gr duyarlıklı terazi
- 110 (± 5) °C sıcaklıkta bir etüv (fırın)
- Geniş bir cam levha
- 3 mm çapında tel bir çubuk

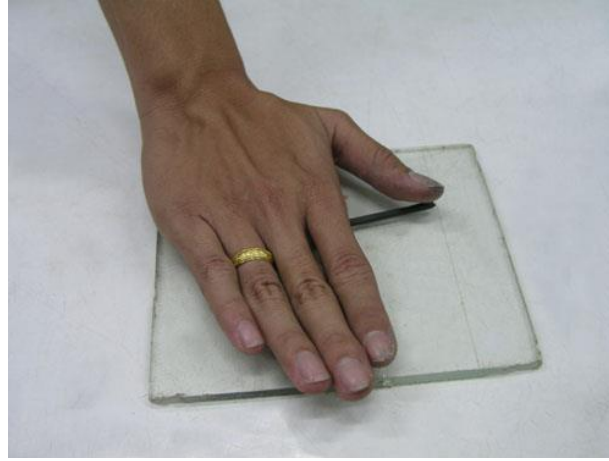
Deneyin Yapılışı

Likit limit deneyi için hazırlanmış numuneden bir miktar alınır (Şekil 1).



Şekil 1. Plastik limit deney numunesi

Numune cam levha üzerine konulup, avuç içi ile yuvarlamak suretiyle zemin çubukları haline getirilmeye çalışılır (Şekil 2).



Şekil 2. Zeminin avuç içinde yuvarlanması

Zemin çubukları 3 mm çapında silindirik çubuklar haline gelmeden çatlamlar oluşursa, numune üzerine çok az miktarda damıtık su ilave edilerek yoğrulur ve tekrardan avuç içinde cam levha üzerine konulup yuvarlanır.

Zemin çubukları 3 mm çapında silindirik çubuklar haline geldiğinde çatlamlar hala oluşmamışsa, numune parmaklar arasında yoğrularak havalandırılıp su içeriği azaltılarak tekrardan avuç içinde cam levha üzerine konulup yuvarlanır.

Yukarıdaki işlemler, zemin çubuklarının Şekil 3 te görüldüğü gibi 3 mm çubuklar haline geldiğinde çatlamlar oluşuncaya kadar tekrarlanır



Şekil 3. Zemin numunelerinin 3 mm çubuklar haline geldiğinde çatlamların başlaması

Zemin çubukları 3 mm çubuklar haline geldiğinde, çatlamlar ve kopmalar başladığı andaki zeminler, boş kütlesi (M_t) bilinen bir kap içerisinde tartılarak kütlesi (M_{tw}) kaydedilir ardından etüve koyulur (Şekil 4-5). Bu şekilde en az üç deney yapılır.



Şekil 4-5. Zemin numunelerinin kaba konulup tartılması

Yaklaşık 24 saat kurutulmuş numuneler etüvden çıkarılıp tekrar tartılır. Kütlesi (M_{td}) olarak kaydedilir (Şekil 6-7).



Şekil 6. Tartılan zemin numunelerinin etüve konulması



Şekil 7. Etüvde kurutulan numunelerin etüvden çıkarılması

Hesaplamalar

Numuneye ait plastik limit değeri;

$$W_p = \frac{M_{tw} - M_{td}}{M_{td} - M_t} \times 100$$

bağıntısı ile hesaplanır

W_p = Plastik Limit (PL)

M_{tw} = Numune + Kap

M_{td} = Kuru Numune + Kap

M_t = Kap