

SERİ B CİLT 33



SAYI 1 1983

İSTANBUL ÜNİVERSİTESİ

ORMAN FAKÜLTESİ

DERGİSİ



ZEMİNDE DANE BÜYÜKLÜĞÜ DAĞILIMININ (GRANÜLOMETRİNİN) TAYİNİ İÇİN STANDART YÖNTEMLER

Doç. Dr. Turgay AYKUT¹

G İ R İ Ő

Toprağın katı materyali ya da katı kısmı kayaların fiziksel ve kimyasal olarak ayrışması sonucu meydana gelen inorganik materyal ile hayvansal ve bitkisel organizmaların az ya da çok ayrışmış artıklarının karışımından meydana gelen bir komplekstir. Bu iki grup orijinleri ve özellikleri yönünden büyük farklılıklar gösterdiğinden bunların ayrı ayrı ve detaylı olarak mütalasında yarar bulunmaktadır.

Zemindeki organik maddeler ya bitkisel ya da hayvansal artıklardan meydana gelmektedir. Bu artıklar zemine organizmalar öldükten sonra dahil olurlar. Daha sonra kimyasal ve bakteriyel olaylar ile değişik oranlarda ayrışmaya uğrarlar. Hayvansal orijinli kısımların miktarı nisbeten azdır. Ve zeminde birikmeye uygun değildir. Çünkü bunlar süratle ve tamamen ayrışır. Yaşayan bitkiler bu ayrışma ürünlerinden besin olarak yararlanırlar. Diğer taraftan bitkisel orijinli organik materyallerin miktarı daha fazladır. Çünkü, bitkisel materyallerin ayrışmasıyla meydana gelen maddelerin dayanıklı olması nedeniyle zeminde daha uygun süre kaldıklarından bunların oranlarının artmasına sebep olmaktadır. Zeminde bulunan bu iki cins organik maddenin toplam miktarı, ölü organizmaların meydana gelme hızı ile bunların ayrışarak zeminden daha sonra alınan maddeler haline gelme hızına bağlıdır.

Organik maddeler, toprak içinde yüzeye yakın ve yüzeyde yaşayan organizmalardan meydana geldiği için normal şartlarda üst 5-60 cm lik bölgede yoğun olarak bulunurlar. Kumlu zeminlerde yıkanma olayı eriyici maddelerin daha aşağılara taşınarak oralarda depolanmasına neden olur. Yer solucanlarının faaliyeti de bu karışımların daha aşağılara kadar inmesini sağlar. Turba, linyit ve taşkömürü gibi organik oluşumların mevcudiyeti jeolojik faktörlere bağlı olarak çok daha derin kesimlere kadar uzanmaktadır.

Organik materyaller mühendislik bakımından arzu edilmeyen karakteristiklere sahiptir. Bu karakteristiklerin bağlıcaları gevşek ve sünger bir yapıda ve kendini meydana getiren elemanların mekanik bakımdan zayıf olmalıdır. Bunların üzerlerindeki yük ya da su muhtevasında meydana gelen değişiklikler sonucu hacimleri önemli ölçüde değişmektedir. Bunların tabii su muhtevası çok yüksek olup yüzde yüz ile yüzde beşyüz arasında değişebilmektedir. Bundan dolayı da mekanik stabiliteleri çok

¹ I.O. Orman Fakültesi, Orman İnşaatı, Geodezi ve Fotogrametri Anabilim Dalı, Bahçeköy - İstanbul.

düşük olmaktadır. Organik maddeleri meydana getiren elemanların asidik tabiatı zemindeki suya da asidik reaksiyon özelliği vermesine neden olmakta ve bu cins zemine gömülen malzeme üzerinde aşındırıcı bir etkiye dönüştürebilmektedir. Önemli miktarlarda organik materyal ihtiva eden zeminler, pratik olduğu takdirde inşaat-tan önce inşaat alanından kaldırılırlar. Derin turba tabakaları gibi taşınması mümkün olmayan yerlerde, yol güzergahını da değiştirmek mümkün değilse, yol strüktürünü mümkün olduğu kadar hafif yapılarak turbanın üzerinde yüzmesini sağlayıp böylece hafif bir trafiği taşımak mümkün olabilir.

Organik maddelerin miktarının, zeminin karakteristiklerine olan etkisinin hangi konsantrasyondan sonra başladığı henüz tam olarak bilinmemektedir. Ancak çimento ile stabilizasyonda, organik maddelerin miktarı ağırlık bakımından yüzde 0.5 ulaştığı zaman muhtemelen kimyasal karakterde olabilecek önemli etkiler müşahade edilmiştir. Fakat zeminin fiziksel karakteristikleri, normal olarak organik madde konsantrasyonunun yüzde 2 ile 4 ün üzerine çıkmasına kadar etkilenmemektedir. Zeminin içindeki organik madde yüzdesini belirlemek için çeşitli metodlar bulunmaktadır. Bu metodların dayandıkları esaslar ve organik maddeler yok edildiği zamanki ağırlık kaybının bulunması ya da organik maddenin oldukça sabit yüzdesini (% 58 gibi) teşkil etmesi nedeniyle organik karbon miktarının yüzdesinin tayinidir (RRL, 1968).

İnorganik ya da mineral komponentler çoğu kez zemin kitlesinin esasını teşkil etmektedir. Bunlar yerkabuğunu meydana getiren değişik kaya tiplerinden, fiziksel ya da kimyasal karakterde olan, pedojonik ya da toprak yapan olaylar sonucu meydana gelirler. Fiziksel ya da ilk ayrışma olayları arasında rüzgâr ya da suların taşıdığı parçacıklar ile buzul hareketleriyle kayaların aşınması, birbirini takip eden sıcaklık değişiklikleriyle meydana gelen devamlı büzülme genişleme ve büyümeden dolayı kayaların parçalanması bulunmaktadır. İkinci ayrışma olayı kimyasal karakterdedir. Bu olayda içlerinde erimiş halde karbon dioksit bulunan suların, yıkama olayı dolayısıyla muhtelif kimyasal maddeleri zemin içinde değişik kesimlere götürmesidir. Bu nedenle bu olay toprağın değişik zonlarındaki değişik kimyasal elemanların yer değiştirmesine neden olur.

Fiziksel ve kimyasal olaylar sonucu meydana gelen ayrışma ürünü malzemenin tabiatı, ana kaya, iklim, topografya, vejetasyon ve jeolojik zaman gibi bir seri faktörün etkisi altında bulunmaktadır.

Zeminin mineral kısmı çoğu kez değişik tipte katı parçacıklardan oluşmaktadır. İnorganik karakterde olan zeminin ana kısmının fiziksel özellikleri onu meydana getiren parçacıkların özellikleriyle aynıdır. Bu özelliklerin en önemlileri büyüklük, biçim ve minerolojik yapısıdır.

Dane büyüklüğü ve biçim bir ölçüde minerolojik yapıya bağlıdır. Meselâ, mikali zeminlerde daneler mineralin tabakalı yapısına sahip bulunmaktadır. Kuvartz gibi çalı sert bir mineralden oluşmuş daneler aynı aşınma şartları altında, daha yumuşak olan diğer minerallerden oluşmuş danelere nazaran daha az yuvarlak daneler meydana getirmektedirler.

Toprak daneleri biçim bakımından iki esas gruba ayrılmıştır. Bunlardan biri hacimli ve kaba daneler, diğeri de yassı ya da pul biçiminde danelerdir. Kaba da-

neler de yuvarlaklık ve köşellilik derecelerine göre yuvarlaklaşmış, az yuvarlaklaşmış ve köşeli az köşeli olmak üzere alt gruplara ayrılmıştır. Bir kum ya da çakıl kitle kaba daneleri tanımlamak için iyi bir örnektir. Eğer bu çakıllar iyi yıkanmış bir nehir çakılı ise daneler yuvarlaklaşmış ya da az yuvarlaklaşmış, eğer daneler kırılmış kaya ya da çakıllardan oluşmuşsa bu takdirde köşeli ya da az köşeli olacaklardır. Kaba danelerin yuvarlaklık ve köşelliliği, bir zeminde kesme kuvvetinin sürtünme direnci komponenti üzerinde önemli bir etkiye sahip bulunmaktadır. Örnek olarak, iki kitleden birisi köşeli kırılmış kaya diğer benzer kitle mermer ise, pek tabii olarak kırılmış ve köşeli kaya kitlesinin bir düzlem boyunca kaymamasına karşılık mermer kitlesi kayabilecektir. İnce ve yassı daneler bazen zeminde bulunan mika parçacıklarıyla temsil edilirler. İnce ve yassı danelere yatay olarak yarıma ve kırılma özelliğine sahip sedimentler de yassı ve düz danecikler halinde parçalanabilirler. Killi zeminlerde fazlaca bulunan kil mineralleri, mikroskopla görülebilen ince ve yassı daneler biçimindedir. Killin birçok karakteristik özellikleri bu dane biçimiyle ilgili bulunmaktadır. Önemli miktarlarda ince ve yassı daneler ihtiva eden bu tip zeminler nisbeten düşük bir iç sürtünmeye sahip olduklarından, bu daneler birbirleri üzerinde kolaylıkla kayarlar. Bunlar kaba danelerin sahip oldukları birbiriyle bağlanma özelliğine sahip değildir (WOODS, 1960).

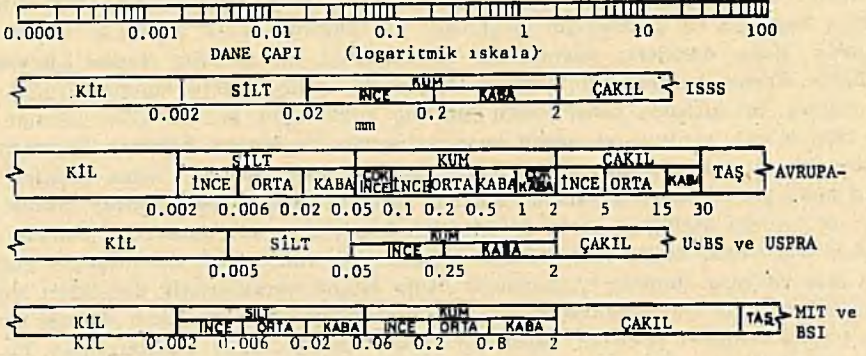
1. ZEMİN DANELERİNİN BÜYÜKLÜKLERİ

Zeminin fiziksel karakteristikleri üzerinde en fazla etkisi olan özellik dane büyüklüğüdür. Bu özellik bir zeminde daneler arasındaki büyüklük dağılımının (granülometri) saptanması ile değerlendirilmektedir. Zemindeki danelerin büyüklüğü ve büyüklüklerin bütün bir zemin kitlesi içindeki dağılımı, zemin özellikleri ve performansını etkileyen önemli faktörlerdir. Zemin içindeki her danenin büyüklüğünü belirlemek mümkün olamayacağına göre, dane büyüklüğü dağılımının tesbiti seçilen büyüklük sınırları arasında kalan kısımların bulunması ile yapılabilmektedir. Bu limitler ya da sınırlar eşit dane çapları terimiyle ifade edilmekte ve daneler küre biçiminde düşünülür ve böyle kabul edilmektedir. Herhangi iki sınır ile tayin edilmiş bulunan dane büyüklük ya da çap aralığına zeminin fraksiyonu adı verilmekte ve değişik fraksiyonlar benzedikleri zeminin cinsine göre yani zemin hangi fraksiyona ait danelerden yeter miktarda ihtiva ediyorsa (kum, silt ya da kil gibi), ona göre adlandırılmaktadır. Değişik zemin fraksiyonlarının dane büyüklük karakteristiklerinin uygun bir biçimde tanımlanması için, Birleşik Amerika ve Avrupa'da değişik kurumların her biri ayrı bir dane büyüklük sınıflandırması yapmışlardır (*Resim 1*). Bununla ilgili olarak Birleşik Amerika, İngiltere ve Avrupa'daki elek boyutlarının birbirleri ile karşılaştırmak amacıyla *Resim 2* düzenlenmiştir. Çünkü çok sayıda dane büyüklük sınıflandırması yapıldığı için, çakıl, kum, silt v.b. diğer terimler kullanıldığı zaman hangi sınıflandırmanın ya da iskanın kullanıldığını belirtmek gerekli olmaktadır. Değişik sınıflandırmalar arasındaki en önemli fark kil fraksiyonunu içine alan danelerin maksimum çapıdır. Çünkü kil muhtevası toprağın çok önemli bir karakteristiğidir. Bu karakteristiklerin başlıcaları büyüklük sırasıyla aşağıda verilmiştir (RRL, 1968):

1.1. Çakıl

Çakıl kayaların ayrışıp dağılması sonucu meydana gelen kaba ve iri daneler-

den oluşmaktadır. Bu daneler genellikle akarsuların menbaından itibaren taşınmaları sonucu aşınarak yuvarlak bir biçim almışlardır.



(RRL, 1968 den)

Resim 1.

1.2. Kum

Kumlar, çoğu kez silis ve kuvars danelerinden oluşmaktadır. Fakat bazı plaj kumları istiridye parçacıkları biçiminde kalsiyum karbonat ve buzul kumları ile ufalanmış kaya minerallerini ihtiva ederler. Kum daneleri çıplak gözle görülebilirler. Parmaklar arasında ovulduğu zaman, pürüzlü bir his vererek kum daneleri olduğu belirlenebilmektedir. Zeminin stabilitesine kum fraksiyonlarının yardımı, daneler arasındaki mekanik etkilerden (iç sürtünme) dolayıdır. Zemin içinde bu fraksiyonlar çoğunlukta ise böyle zeminlere sürtünmeli zeminler adı verilmektedir. Daneler arasındaki kohezyon, daneler arasındaki mevcut su filimlerinin etkisinin ya da yüzeysel etkilerin nisbeten az olması nedeniyle ve emme etkisinin de düşük olması sebebiyle, hemen hemen yok gibidir. Düşük yüzeysel adsorbsiyon bu fraksiyondaki danelerin süzme ya da büzülme özelliklerini daha da azaltmaktadır. Eğer zeminlerde hakim unsur kum ise daima gevşek bir strükture sahiptir ve kolayca dren edilebilirler. Kumlu zeminlerde konsolidasyon etkisi nisbeten azdır. Yol temellerinde kullanıldığı ya da bulunduğu zaman don zararlarına karşı dayanıklıdır.

1.3. Silt

Silt daneleri fiziksel ve kimyasal olarak kum fraksiyonundaki danelere fazlaca benzerler. Aralarındaki başlıca fark, kum danelerine nazaran daha küçük boyutta olmalarıdır. Siltlerde aynen kum danelerine benzedikleri için bunlarda da toprağın stabilitesine yardımcı olan başlıca husus iç sürtünmedir. Fakat daneler arasındaki su filimleri zeminde bir dereceye kadar kohezyona neden olmaktadırlar. Genel karakteristiği siltli olan zeminler don etkisiyle meydana gelen kabarmaya karşı çok hassastırlar. Bu husus belki de yol mühendislerini ilgilendiren başlıca husustur. Buna karşılık siltler killere oranla daha geçirgen olduklarından bunlarda konsolidasyon daha azdır. Bundan dolayı şişme ve büzülme de killere oranla daha düşük bir ölçüde olmaktadır.

AVRUPA STANDART ELEKLERİ		AMERİKAN STANDART ELEKLERİ	
İNGİLİZ STANDART ELEKLERİ	Mikron		Elek No
Elek No	$\frac{1}{10}$ mm		
	6.000		
	5.000		4
	4.000		5
5			6
	3.000		7
6			8
7			10
8	2.000		12
10			14
	1.500		16
12			18
14	1.250		20
16	1.000		30
18			40
22	750		50
25			60
30	500		70
36	400		80
44	300		100
52			120
60			140
70	200		170
85			200
100	150		250
120			270
150	100		325
170			
200	75		
240			
300	50		
Avrupa standart elek ölçüleri mm olarak verilmiştir.		40	

(RRL, 1968 den)

1.4. KİL

Kil fraksiyonundaki daneler diğer iki fraksiyonda yani kum ve silt fraksiyonlarında bulunanlardan kimyasal yapı ve fiziksel özellikler bakımından farklıdır. Bunlar kimyasal olarak sulu alüminyum silikatlarından ibarettir ve primer kaya minerallerinin iri danelerinin yıkanarak ayrışmaları sırasında oluşmaktadır. Kil mineralleri arasında kaolinit, montmorillonit ve mikayı saymak mümkündür. Fiziksel olarak kil daneleri daha kaba danelli fraksiyonlarda yassı ve uzun ya da levha şeklinde olmalarıyla ayrılmaktadır. Böylece kübik ya da küresel biçimde olan danelere nazaran birim ağırlığa isabet eden daha fazla bir yüzeye sahip olmaktadır. Bu levha gibi yassı ve uzun oluş biçimi, kil danelerinin su ile karışmasıyla ortaya çıkan plastik özellik göstermelerine neden olan en önemli faktördür. Bu yassı danelerin yüzeylerinin birbirlerine paralel biçimde yan yana geldikleri ve etraflarını saran su filimlerinin danelerin birbiri üzerinde kolaylıkla kaymalarını sağladığı düşünülmektedir. Kil danelerinin etrafını saran su filimleri, özellikle kil fraksiyonunun geniş özel yüzeyi ve buna bağlı olarak kendisiyle birlikte bulunan suyun miktarının fazla olmasından dolayı önemlidir. Killer bu sırada kendileriyle bir arada bulunan suyu adsorbe etmiş durumdadır ve bu kil danelerine sulandırılmış kil daneleri de denilmektedir.

Adsorbsiyon kuvvetlerinin etkisi dane yüzeyinden olan mesafenin artmasıyla azalmakta ve dane ile temasta bulunan suyun durumu da değişmektedir. Bazı araştırmacılara göre yüzeye en yakın olan sular daha sıkı bir biçimde tutulmaktadır ki bu suyun katı halidir. Su zeminin kitlesinden uzaklaştıkça gerçek likid hale dönüşür. Su bu noktalar yani iki limit arasında ise katı ile sıvı arasında bir karakteristiğe sahip olmaktadır. Adsorbe edilmiş suyun özellikle killerin emme, büzülme ve şişme özelliklerine hissedilir bir etkisi bulunmaktadır. Kil daneleri arasında mevcut bulunan boşlukların küçük boyutları, killi toprakların ya da killi zeminlerin geçirgenliğinin çok düşük olması sonucunu ortaya çıkarmaktadır. Bu nedenle bu tip toprak ya da zeminlerin drenajı da çok zordur. Suyun hareketine karşı gösterilen bu zahiri direnç, killi toprakların uzun süre konsolidasyon etkisi altında kalmalarına neden olmaktadır. Bir toprağın fiziksel özellikleri, adsorbe edilmiş iyonların tabiatıyla etkilenmiş olabilir.

Kil fraksiyonu, içinde bulunduğu toprağın özelliklerini çok az miktardaki mevcudiyeti ile bile, varlığını belli edecek biçimde etkileyen bir özelliğe sahiptir. Örneğin yüksek oranda kum daneleri ihtiva eden (% 70-80) topraklarda kilin miktarı yüzde 10 gibi çok az bir değerde bile olsa, bu topraklar önemli derecede kohezif ve plastik özelliklere sahip olurlar. Buna karşılık genel olarak bilinen, kilin bütün özelliklerine malik bir toprağın sadece yüzde 40-50 oranında kil danelerini ihtiva etmesi gerektirir.

Daha önce de açıklandığı gibi topraklar başlıca parçalanmış katı mineral daneleri ya da parçacıklarından ibarettir. Su, hava ya da her ikisini değişik miktarlarda ihtiva ederler. Bu boşluklar katı parçacıklar arasına dağılmış durumdadırlar. Halen yer kabuğunun yüzeyine yakın yerlerinde bulunan ya da jeolojik devirlerde aynı yerlerde bulunmuş olabilen topraklar değişik miktarlarda ve değişik ayrışma durumlarında organik madde ihtiva ederler. Toprağın katı parçacıklarının ya da danelerinin büyüklüğü, biçimi ve mineral muhtevası mikroskopla görülebi-

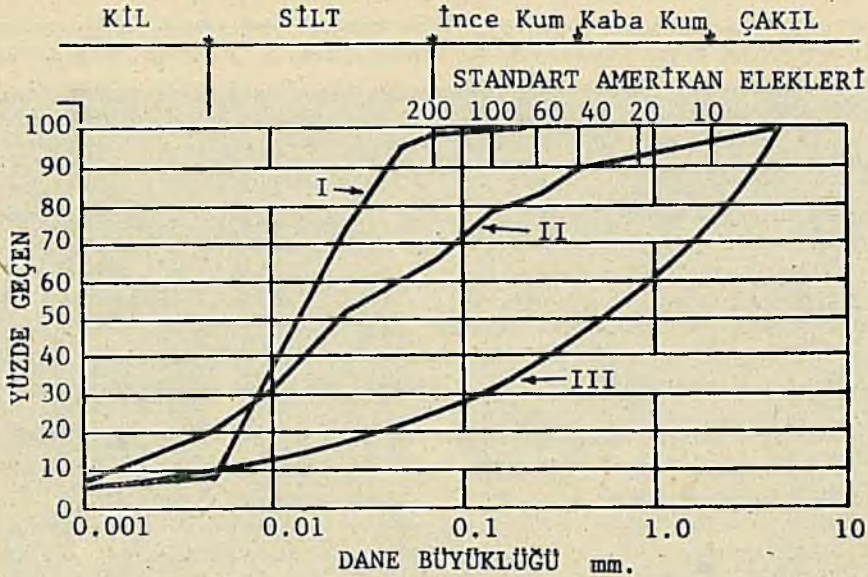
len kil minerallerinden gözle görülebilen kaya parçalarına kadar fazlaca değişmektedir. Bu bileşenlerin biraraya gelmesiyle oluşan kombinasyonların sonsuz derecede değişken oluşu, toprak kitlesinin tamamı ve onu meydana getiren bileşenlerin fiziksel ve kimyasal özelliklerinde farkların meydana gelmesine neden olmaktadır.

2. ZEMİNDE DANE BÜYÜKLÜK DAĞILIMININ BELİRLENMESİ

Toprakta dane büyüklüğü dağılımı, dane büyüklük analizi ya da genellikle mekanik analiz olarak adlandırılan bir yöntemle bulunur. Böyle bir analiz ya da derecelendirme toprakta mevcut değişik büyüklükte daneleri ihtiva eden grupların her birinin toplam kuru ağırlığının yüzde oranlarını ya da yine kuru ve katı danelerin ağırlığına dayanan ve saptanmış bulunan belli büyüklükten daha ince ve küçük olan danelerin yüzde oranları (yüzde geçen) tablolar şeklinde gösterilebilir. Ayrıca bunlar grafik şeklinde de ifade edilebilmektedir.

Toprakta çok geniş bir dane büyüklüğü aralığı ile karşılaşıldığı için, bu fraksiyonları esaslı farklı özellikler bakımından uygun bölümlere ayırmak gerekmektedir. Böylece çakıl, kum, silt ve kil fraksiyonları, ihtiva ettikleri azalan dane büyüklükleri ile tanımlanırlar. Danelerin gerçek boyutları genellikle eşit dane çapları terimiyle verilmekte ve fraksiyonlar bundan dolayı belli sınırlar arasındaki dane çaplarıyla tanımlanmaktadır.

Bundan başka bir toprakta dane çapı dağılımı dane büyüklüğü dağılım eğrisi şeklinde de gösterilebilmektedir (Resim 3). Böyle bir eğri logaritmik bir ıskalaya sahip apsüs eksenini üzerinde dane büyüklüklerini ve aritmetik ıskalalı ordinat eksenini üzerinde de yüzde geçen miktarların işaretlendiği yarı logaritmik bir kâğıt üzerinde gösterilebilmektedir. Eğrinin biçimi toprağın genel derecelenme ya da sıralanma



(WOODS, 1960 dan)

- I : Dane büyüklük dağılımı fena
- II : Dane büyüklük dağılımı iyi
- III : Dane büyüklük dağılımı ideal

Resim 3.

karakteristiklerini bir bakışta gösterebilmektedir. Eğer eğri nisbeten dik olarak seyrediyorsa dane çapı aralıkları dar olmakta ve danelerin dağılımı iyi değil demektir. Daha yatık bir eğri daha geniş bir dane büyüklük aralığını belirlemektedir. Eğer eğri bir parabol biçiminde ise dane büyüklük aralıkları en inceden en kalına doğru olan bir ilişkiyi göstermektedir. Böyle bir ilişkiyi gösteren toprak sıkıştırıldığı takdirde yüksek bir yoğunluğa ulaşmaktadır. Böyle topraklara granülometrisi ideal ya da dane dağılışı uygun topraklar denmektedir.

Dane büyüklüğü analiz sonuçları toprağın sınıflandırılmasında ve diğer toprak çalışmalarında her zaman kullanılmaktadır. Ayrıca yol inşaatında kullanılan toprakların bu inşaata uygunluğunun saptanmasında da yararlı olmaktadır.

Zeminleri meydana getiren 0.074 mm den daha büyük daneler yani 200 No.lu standart elek üzerinde kalan daneler genellikle elek analizi yoluyla analiz edilirler. 0.074 mm den daha küçük daneler yani 200 No.lu standart elekten geçen daneler ise, bu danelerin yerçekimi sedimentasyonu esasına dayanan bir yöntem olan Hidrometre ya da Pipet yöntemi ile analiz edilirler (BAYOĞLU, 1968a; RRL, 1968).

2.1. Elek analizi yöntemi

Elek analizi yöntemi herhangi bir zeminden alınan örnek içinde bulunan çeşitli büyüklükteki danelerin iştirak oranlarını belirlemek için uygulanmaktadır. Yani zemini meydana getiren danelerin büyüklük ve granülometrisi elek analizi yöntemiyle saptanmaktadır. Daha başka bir ifadeyle zeminden alınmış bulunan örneklerin sınıflandırılmasında ve yararlılık derecelerinin bulunmasında rol oynayan faktörlerden en önemlisi elek analizinden elde edilen sonuçlardır.

2.1.1. Elek analizi yönteminde kullanılan araç ve gereçler

Bu yöntemde kullanılan araç ve gereçler standart elek takımı, elek temizleme fırçası, 0,1 grama kadar hassasiyette bir terazî (Resim 4) kurutma fırını, sallayıcı



Resim 4.

(shaker) örnekleri bölmek için örnek bölücü, desikatör, pirinç ya da alüminyum geniş bir kap, havan ve lastik uçlu havan tokmağıdır.

Bu yöntemde ülkemizde Karayolları Genel Müdürlüğünce'de kabul edilmiş bulunan ve kullanıla gelen standart Amerikan elekleri kullanılmaktadır. Bu elekler standart açıklıkta delikler ihtiva etmekte ve yine standart kahlınlıktaki tellerden yapılmış bulunmaktadır. Bunların boyut ve numaraları aşağıda bir tablo halinde verilmiştir (Tablo 1).

Tablo 1.

Elek No.	Elek açıklıkları ya da boyutları	
	İnç	mm
	3	76,2
	2	50,8
	1,5	38,1
	1	25,4
	0,750	19,1
	0,375	9,52
4	0,187	4,76
10	0,0787	2,00
40	0,0165	0,42
200	0,0021	0,074

Bu eleklerin hepsinde açıklıklar ya da elek delikleri kare biçimindedir ve elek numaraları bir inçlik bir kenardaki delik sayısını ya elek telli sayısını ifade etmektedir.

2.1.2. Elek analizi yönteminin uygulanması

Elek analizi yönteminin çeşitli şekilleri geliştirilmiştir. Burada ülkemizde geniş bir uygulama alanı bulunan Karayolları Genel Müdürlüğünün uyguladığı yöntem verilecektir (KGM, 1953; 1967).

Bu yöntemde göre gözönünde bulundurulacak başlıca esas elek analizi formunda da görüldüğü gibi toprak örneğinin kaba ve ince kısım olarak ikiye ayrılması ve rutubet düzeltmesinin sadece 4 No.lu standart elekten geçen ince kısım üzerinde yapılmasıdır. Buna göre kaba kısım 4 No.lu standart elek üzerinde kalan kısım ve ince kısım da 4 No.lu elekten geçen kısım olarak tanımlanmaktadır.

Elek analizinde arazide zeminden alınmış bulunan örnekten yeter miktardaki bir kısım ayrılarak havada kurutulup tartılmakta ve yukarıdaki sıraya göre verilmiş bulunan değişik çaplı eleklerde elenmekte ve her elekte kalan miktarın ağırlığı tesbit edilmekte ve bu değerlere dayanarak da her örnekte ağırlık olarak her dane büyüklüğünden yüzde ne miktar bulunduğu belirlenmektedir.

Buna göre araziden alınmış bulunan fazla miktardaki zemin örnekleri, laboratuvarında uygun bir yere serilmekte ve buradan elek analizi yapılabilecek kadar bir örnek ayrılmaktadır. Bu örnek havada kurutularak tartılmakta ve elek analizi yöntemi formunda (Form 1) örnek+kap ağırlığı (Ia) sütununa kayıt edilmektedir.

Bundan sonra örnekle birlikte tartılan kabın ağırlığı (Ib) bulunmakta ve örneğin net ağırlığı (Ic), örnek+kap ağırlığından (Ia), kap ağırlığını (Ib) çıkarmak suretiyle (Ia-Ib) belirlenmektedir.

ELEK ANALİZİ YÖNTEMİ

TARİH...../...../.....

BÖLGE ADI :		DENEY NO :		MALZEMENİN CİNSİ :	
YOL KOD NO :		ÖRNEK NO :			
I. TARTILAR		II. RUTUBETİN SAPTANMASI		III. NO. 4 DEN GEÇEN BÖLÜNMÜŞ ÖRNEK	
a) Örnek + kap ağırlığı gr		a) Kap + yaş örnek ağırlığı gr		a) Örnek + kap ağırlığı gr	
b) Kap ağırlığı gr		b) Kap + kuru örnek ağırlığı gr		b) Kap ağırlığı gr	
c) Örnek ağırlığı (a-b) gr		c) Rutubet (a-b) gr		c) Örnek ağırlığı (a-b) gr	
d) Kaba kısım gr		d) Kap (No.) ağırlığı gr		d) Kuru örnek ağırlığı gr	
e) İnce kısım gr		e) Kuru örnek ağırlığı (b-d) gr		$(\frac{IIIc \times 100}{100 - w})$	
f) Rutubet düzeltmesi İnce Kısım $(\frac{Ie \times 100}{100 + w})$ gr		w) Rutubet % $(\frac{IIIc \times 100}{IIIe})$		e) Toplam kuru ağırlık gr	
				I. = (Id + If)	

ELEK BOYUTLARI	ELEKTE KALAN gr	(A) TOPLAM ELEKTE KALAN gr	(B) TOPLAM ELEKTE KALAN (A x 100/L)	(C) TOPLAM ELEKTEN GEÇEN (%) (Z)	(D) TOPLAM ELEKTEN GEÇEN (%) (Z)
KABA RİSİT	3inc				
	2inc				
	1 1/2inc				
	1inc				
	3/4inc				
	3/8inc				
	NO:4				
	(D)	(E)	(F) (E x 100/IIIId)	(G) (Fx CNo4/100)	(H) (C No4-G)
İNCE RİSİT	NO:10				
	NO:40				
	NO:200				

Form: 1.

Daha sonra örnek sıra ile 3, 2, 1,5, 1, 3/4, 3/6 inçlik ve 4 No.lu standart eleklerden elenerek her elek üzerinde kalan net ağırlıklar bulunmakta ve ilgili sütunlara kayıt edilmektedir. Bu net miktarlar, eleklerle birlikte tartılan örneklerin ağırlığından elek ağırlıkları çıkarılarak saptanmaktadır.

Elek analizi sırasında iri daneler üzerine yapışan ufak toprak parçaları tel fırça ile temizlenerek daha küçük eleklerden geçmeleri sağlanmalı ve zemin örneğinin içinde ince danelerin birbirlerine yapışmalarıyla meydana gelen kitleler ucu lastikli

tokmakla havanda ufalanmalıdır. Daha sonra toplam elekte kalan miktarlar (A), her elekte kalan örneklerin toplanmasıyla bulunmaktadır. Bunun anlamı, kaba kısmı ihtiva eden örneğin sadece bir tek elek üstünde kalan kısmını göstermesidir. Bu nedenle 4 No.lu standart eleğin toplam elekte kalan değeri kaba kısım olarak tanımlanmakta ve (Id) sütununa kayıt edilmektedir.

Toplam elekte kalan yüzde oranlar (B), toplam elekte kalan miktarların (A), yüz ile çarpılarak ve toplam kuru ağırlık (L) ye (IIIe) bölünmeleri suretiyle saptanmaktadır. Yani toplam elekte kalan yüzde oranlar, toplam kuru ağırlığa göre yüzde oranlardır. Toplam elekten geçen yüzde oranlar da (C), toplam elekte kalan yüzde oranların yüzden çıkarılmalarıyla (100-B) elde edilmektedir.

Ayrıca analizin yapıldığı anda ince kısmın ihtiva ettiği rutubeti belirlemek için 4 No.lu standart elekten geçen kısım içinden 50 - 70 gram ve 10, 40 ve 200 No.lu standart eleklerden elemek için de 250 - 300 gram olmak üzere iki ayrı örnek alınmaktadır.

4 No.lu standart elekten geçen kısımdan ayrılmış bulunan 50 - 70 gramlık örnek fırında 110°C ye kadar kurutularak ilgili formdaki (Form: 1) ikinci sütundaki sıraya göre rutubet miktarı hesaplanmaktadır. Bunun için bu örnek önce kapla birlikte (IIa) ve bundan sonra fırında kurutularak tartılmakta (IIb) ve bu değerlerin birbirinden çıkarılmasıyla (IIa-IIb), rutubet miktarı (IIc) hesaplanmaktadır. Daha sonra kap ağırlığı (IId) bulunmakta ve kap+örnek ağırlığından (IIb), kap ağırlığı çıkarılarak (IIb-IId), kuru örnek ağırlığı (IIe) saptanmaktadır. Burada ince kısma ait rutubet yüzdesi (w), rutubet miktarının (IIc), yüzle çarpılıp kuru örnek ağırlığına (IIe) bölünmesiyle elde edilmektedir. Yani rutubetin, kuru örnek miktarına göre yüzde oranı belirlenmektedir.

$$\text{Yüzde rutubet} = w = \frac{\text{IIc} \cdot 100}{\text{IIe}}$$

Burada belirlenen rutubet yüzdesi, ince kısmın rutubet düzeltilmesi (Ic) ve 4 No.lu elekten geçen bölünmüş örneğin ağırlığının kuru olarak saptanması (IIId) için kullanılmaktadır.

Bundan sonra 4 No.lu standart elekten geçen ve 10, 40 ve 200 No.lu standart eleklerden geçirilmek üzere alınan 250 - 300 gramlık bölünmüş örnek önce kap ile birlikte tartılmakta (IIIa), sonra kabın ağırlığı (IIIb) bulunmakta, örnek+kap ağırlığından, kap ağırlığı çıkarılarak (IIIa-IIIb) örneğin net ağırlığı (IIIc) tesbit edilmektedir. Bundan sonra kuru örnek ağırlığının (IIId) saptanması için, örnek ağırlığı (IIIc) yüz ile çarpılmakta ve yüzde rutubet muhtevası (w) nın yüzle toplamına bölünmektedir.

$$\text{Kuru örnek ağırlığı} = \frac{\text{IIIc} \cdot 100}{100 + w}$$

Toplam kuru ağırlık (L) ise, birinci sütunda hesap edilen kaba ve rutubet düzeltilmesi yapılan ince kısmın toplamından (Id+If) ibaret olmaktadır.

Bunlardan sonra 10, 40 ve 200 No.lu standart eleklerden geçirilmek üzere ayrılan 250 - 300 gramlık örnek üzerinde yıkama işlemi yapılmaktadır. Bunun için ör-

nek yarısından fazla su ile doldurulmuş beher içinde 18 saat bırakılmaktadır. Bihare 200 No.lu standart eleğin üzerine konularak, eleğin altından temiz su çıkıncaya kadar su ile yıkanmakta ve bu yıkanmadan sonra örnek porselen bir kurutma kabına alınarak fırına konmakta ve sabit bir ağırlığa gelene kadar (110°C) kurutulmaktadır. Buradan alınan kurutulmuş örnek bir sallayıcı yardımıyla 10, 40 ve 200 No.lu standart eleklerden elenmekte ve her elekte kalan miktarlar tesbit edilmektedir. Yöntemin bundan sonra ince kısım için uygulanmakta olan safhası, kaba kısımda uygulananların aynı olmaktadır. Yani 10, 40 ve 200 No.lu standart elekler üzerinde kalan net miktarlar (D), eleklerle birlikte tartılan örneklerin ağırlıklarından elek ağırlıkları çıkarılarak saptanmakta ve ilgili sütuna kayıt edilmektedir. Daha sonra toplam elekte kalan miktarlar (E), her elekte kalan miktarların toplanmasıyla bulunmaktadır. İnce kısımda toplam elekte kalan yüzde oranların (F) saptanması için toplam elekte kalan miktar yüzle çarpılmakta ve 4 No.lu elekten geçen bölünmüş örneğin kuru ağırlığına (III'd) bölünmektedir. Yani toplam elekte kalan yüzde oranlar kuru ağırlığa göre yüzde oranlardır.

$$F = \frac{E \cdot 100}{III'd}$$

Bundan sonra bulunan bu değer, 4 No.lu standart elekten toplam yüzde geçen miktar (C) ile çarpılıp yüze bölünerek (G) bulunmaktadır.

$$G = \frac{F \cdot C(\text{No. 4})}{100}$$

Son sütun (H) da da, 4 No.lu elekten geçen miktardan, (G) sütunundan elde edilen yüzde oranların farkları yer almaktadır.

Yukarıda açıklanmış bulunan elek analizi yönteminin her örnek için uygulanmasıyla elde edilen sonuçlar elek analizi sonuçları formuyla (Form: 2) elek analizi grafiği formunda (Form: 3) ifadelerini bulmaktadır.

Daha önce de ifade edildiği gibi 200 No.lu standart elekten geçen daneler, bu danelerin yerçekimi sedimentasyonuna dayanan yöntemler olan Pipet ya da Hidrometre yöntemi ile analiz edilmektedirler. Pipet ile dane büyüklüğü analizi İngiliz Standartlar Enstitüsü tarafından esas laboratuvar yöntemi olarak tavsiye edilmektedir. Bu yöntem için gerekli aletler pahalı ve nazık olduğundan aşağıda yapılacak ölçmeler için kullanılması kolay olmamaktadır. Buna karşılık hidrometre yöntemi dikkatle uygulandığı takdirde, hemen hemen aynı doğrulukta sonuçlar vermekte ve arazi şartları için basit ve kullanışlı aletleri gerektirmektedir. Bu yöntemler ayrıntılı olarak aşağıda verilmiş bulunmaktadır (KGM, 1953; 1967; RRL, 1968).

2.2. Hidrometre yöntemi

Büyük bir kısmı 200 No.lu standart Amerikan eleğinden geçen zeminlerin dane büyüklüklerini belirlemek yararlı olmakta böylece zemindeki kil ve siltin yüzde oranları bulunabilmektedir. Danelerin yerçekimi sedimentasyonu yani değişiklik çaptaki danelerin değişik hızda çökelmelerine (Stokes kanunu) dayanan hidrometre yöntemi elek analizinin devamı olarak kabul edilebilmektedir.

Hidrometre yönteminde kullanılan araç ve gereçler şunlardır :

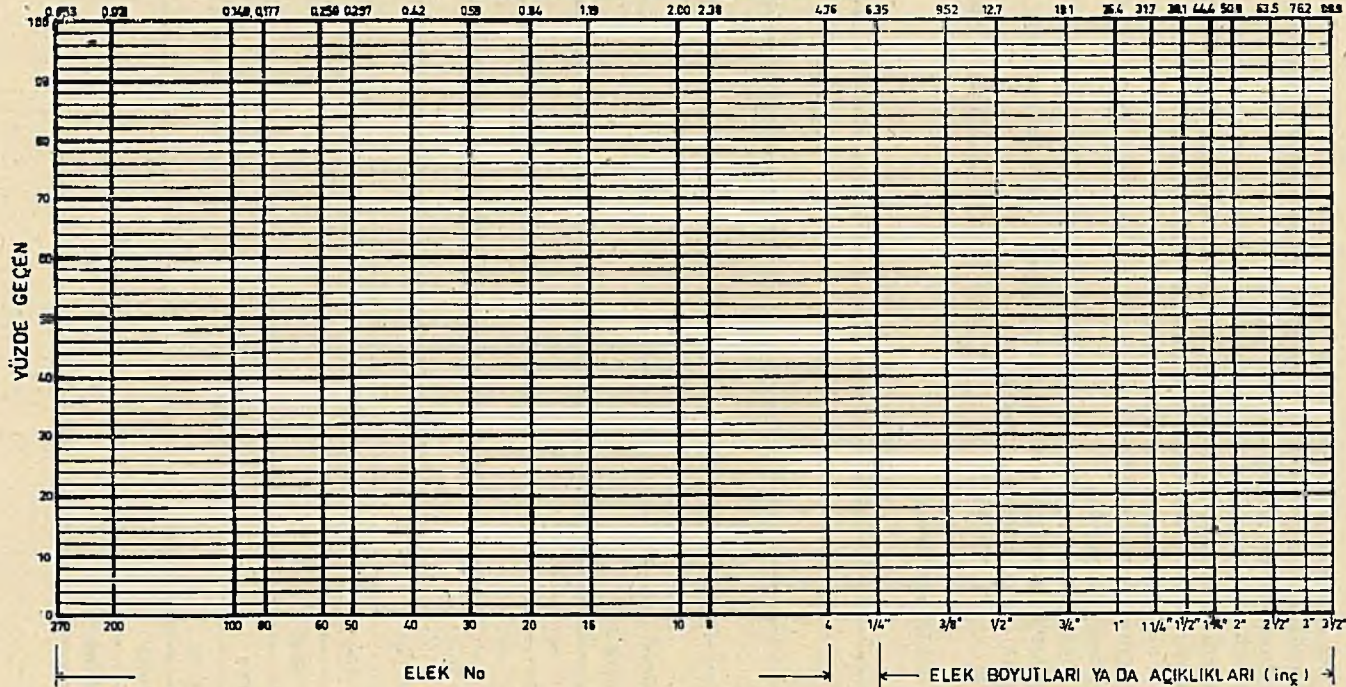
- 0,1 grama kadar hassasiyette bir terazî.
- Dakikada en az 10000 devir yapabîlen bir pervaneye sahip özel bir mekanik karıştırıcı ve karıştırma kabı (*Resim 5*).
- 68°F (20°C) sıcaklıkta damıtık suyun yoğunluğu 1.000 olması esasına göre taksimatlandırılmış bir hidrometre. Burada taksimat toprağın özgül ağırlığı 2.65 olarak kabul edilerek yapılmaktadır (*Resim 6*).
- Hava basınçlı dispersiyon aleti (*Resim 7*).
- Yüksekliği 18 inç (45,7 cm) ve çapı 2 1/2 inç (6,34 cm) olan 1000 millilitre hacminde dereceli kap.
- 1°F (0,5°C) hassasiyette termometre.
- Hidrometre analizleri süresince süspansiyonu sabit bir hararette 68°F (20°C) tutacak bir su banyosu (*Resim 8*).
- 2, 1,5, 1, 3/4, 3/8 inçlik ve 4, 10, 40 ve 200 No.lu standart Amerikan elekleri.
- 250 millilitrelik beher.

ELEK ANALİZİ SONUÇLARI

BÖLGE ADI :		YOL KOD NO :			YOLUN ADI :		
Deneý no							
Örnek no							
Örneğin alındığı yer							
ELEK ANALİZİ - YÜZDE GEÇEN	ELEK BOYUTLARI	3 inç					
		2 inç					
		1 1/2 inç					
		1 inç					
		3/4 inç					
		3/8 inç					
		No 4					
		No 10					
		No 40					
		No 200					

ELEK ANALİZİ GRAFİĞİ

ELEK BOYUTLARI YA DA AÇIKLIKLARI (mm)



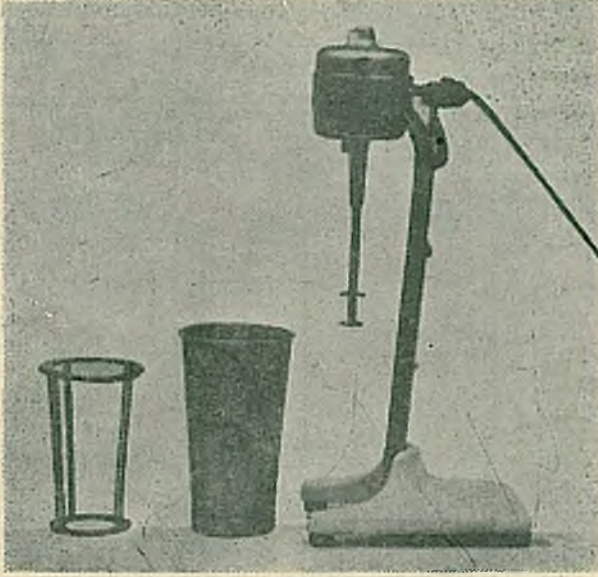
Örnek no :

Yol kod no

Yolun adı

Form: 3.

Bu yöntemde kullanılan örnekler 10 No.lu elek üzerinde kalan malzemenin hepsi ile 10 No.lu elekten geçen malzemenin 80-110 gramlık bir miktarını ihtiva etmektedir. Bu son ilave edilen kısım çok kumlu olduğu zaman daha fazla miktar örneğe gerek bulunmaktadır.



Resim 5.

2.2.1. Hidrometre yönteminin uygulanması

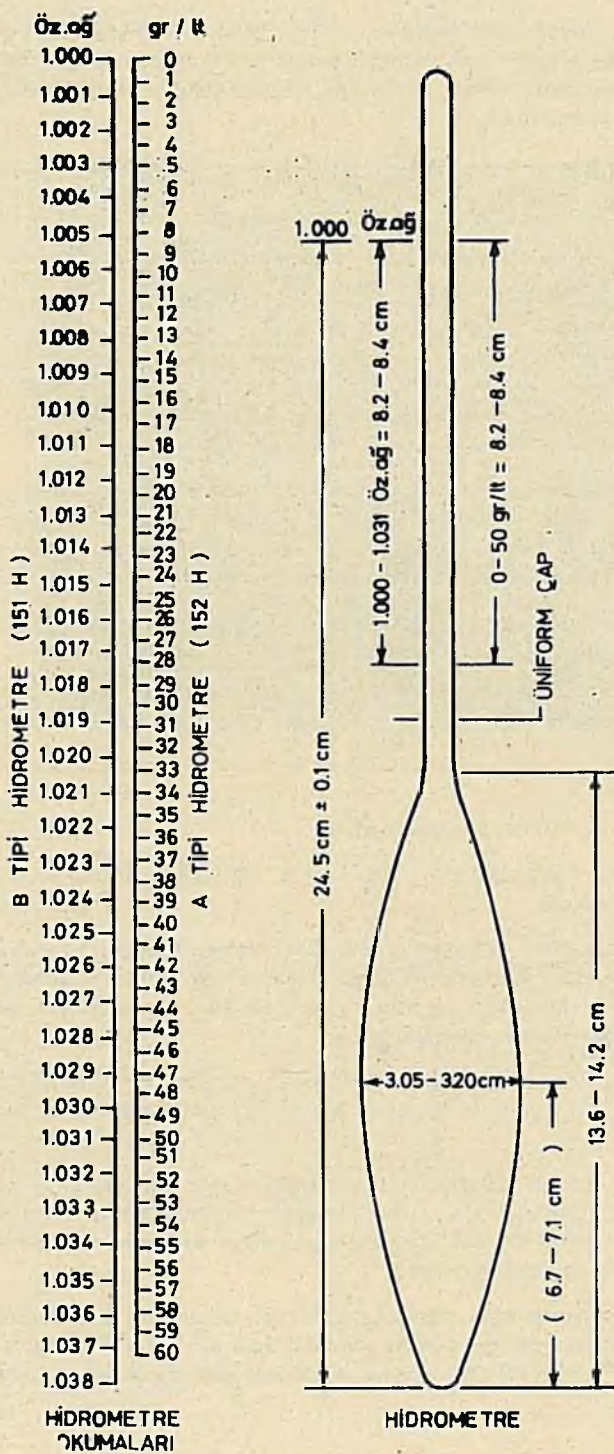
10 No.lu elek üzerinde kalan kısım 2, 1, 1/2, 3/4, 3/8 inç ve 4 No.lu elekler yardımıyla elenmektedir.

Eleme işi, eleklerin yatay ve düşey hareketleri yardımıyla sağlanmakta aynı zamanda örneği daima yüzeyde hareketli tutmak için sarsma hareketi verilmektedir. Elemeye, bir dakika süreyle malzemenin ağırlık olarak yüzde birinden fazlası geçmeyinceye kadar devam edilmektedir.

Bundan sonra her elek üzerinde kalan miktarlar tartılarak ağırlıkları kayıt edilmektedir. Ayrıca toplam elek üzerinde kalan kümülatif miktarlar da hesaplanabilmektedir.

Higroskopik rutubet miktarının belirlenmesi için 10 No.lu elekten geçen zemin örneğinden 10 gramlık bir kısım ayrılarak tartılmaktadır. Daha sonra bu miktar fırında 110°C hararete sabit ağırlığa gelinceye kadar kurutulmakta ve yeniden tartılarak sonuçlar kaydedilmektedir.

Bunu takiben örnek alıcı yardımıyla 10 No.lu elekten geçen kısımdan normal zeminler için 50 gram ve çok kumlu zeminler için de 100 gram örnek alınarak tartılmakta ve 250 millilitrelik bir behere konarak üzerine önceden hazırlanmış bulu-



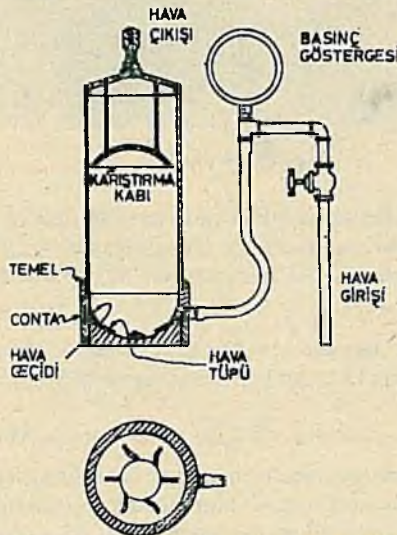
nan dispersiyon maddesinden 125 mililitre konarak bir bagetle karıştırılmakta ve en az 12 saat böylece bırakılmaktadır. Bu maksatla aşağıdaki tabloda verilmiş bulunan dispersiyon maddelerinden herhangi birisi kullanılabilmektedir (Tablo 2).

Tablo 2. Dispersiyon maddeleri.

Adı	Beher litre çözeltideki tuz miktarı (gr.)	Formülü
Sodyum karbonatla tamponlanmış sodyum heksametafosfat	45.7	NaPO_3 veya $(\text{NaPO}_3)_6$
Sodyum polifosfat	21.6	$\text{Na}_{12}\text{P}_{10}\text{O}_{31}$
Sodyum tripolifosfat	18.8	$\text{Na}_3\text{P}_3\text{O}_{10}$
Sodyum tetrafosfat	35.1	$\text{Na}_4\text{P}_4\text{O}_{13}$

Bu çözeltiler tabloda gösterilen miktardaki maddelerden biri tartılarak bir miktar damıtık suda çözülmekte ve sonra yine damıtık su ile bir litreye tamamlanarak hazırlanmaktadır. İlave edilen bu maddenin görevi toprak danelerinin bir araya gelip yapımına engel olmaktadır. Bekleme müddeti sona erdikten sonra beherin içinde bulunan karışım karıştırma kabına aktarılarak sıvı karıştırma kabının yarı seviyesini geçinceye kadar damıtık su ilave edilmekte ve tümü özel karıştırıcı yardımıyla bir dakika süre ile karıştırılarak dispersiyona tabi tutulmaktadır. Dispersiyon için bir başka yöntemde de hava basınçlı dispersiyon aleti (Resim 7) kullanılmaktadır.

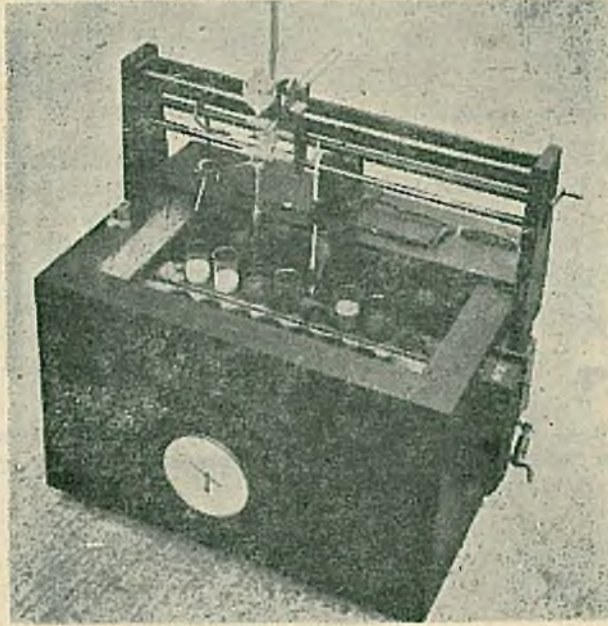
Bundan sonra bu karışım 1000 mililitrelik dereceli kaba aktarılarak 1000 mililitre çizgisine kadar damıtık su ilave edilmektedir. Elde edilen yeni karışım 1515



(KGM, 1967 den)

Resim 7.

68°F (20°C) a getirilerek cam dereceli kabın ağzı avuç içi ile iyice kapandıktan sonra bir dakika süre ile sallanmaktadır. Bu işi devamlı şekilde dereceli kabı aşağı ve yukarı doğru çevirmek suretiyle yapmak yeterli olmaktadır. Böylece karışım-daki daneler düzenli bir biçimde dağılmış olmaktadır. Bundan sonra dereceli kap 68°F (20°C) ısıya ayarlanmış sabit hararet banyosuna konarak süre belirlenip hidrometre okumaları yapılmaya başlanmaktadır. İlk okuma 2 dakika sonra ve müteakip okumalar ise 5, 15, 30, 60, 250 ve 1440 dakika sonra yapılmaktadır. Hidrometre kullanılmadığı zaman damıtık su ile dolu diğer bir cam kap içinde muhafaza edilerek her okumadan 25-30 saniye önce sudan çıkarılıp yavaş bir şekilde karışımın içine bırakılmakta ve böylece tam okuma anında hidrometre sabit bir duruma gelmiş olmaktadır.



Resim 8.

Son hidrometre okumasından sonra karışım 200 No.lu elek üzerinde yıkanarak 200 No.lu eleğin üzerinde kalan kısım kurutulmakta ve kuruyan bu örnek üzerinde elek analizi yapılmaktadır. Bu analizde 40, 60 ve 200 No.lu standart Amerikan elekleri kullanılmaktadır.

Higroskopik rutubet fırında 110°C de kurutulmuş örneğin yüzde oranı olarak ifade edilmekte ve aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

Higroskopik rutubet yüzdesi = $\frac{W - W_1}{W} \times 100$ burada W havada kurutulmuş olan örneğin ağırlığı W₁ ise fırında kurutulmuş olan örneğin ağırlığını göstermektedir. Havada kurutulmuş örneğin ağırlığında higroskopik rutubetle ilgili düzeltme yapmak için örnek ağırlığı aşağıda verilmiş bulunan ifade ile çarpılmaktadır.

$$\text{Düzeltilme faktörü} = \frac{100 + \text{Higroskopik rutubet yüzdesi}}{100}$$

2.2.2. Hidrometrelerin kalibrasyonu :

Çökeltme analizine başlamadan önce her iki tip hidrometrenin de kalibrasyonu gerekmektedir. Bunun için :

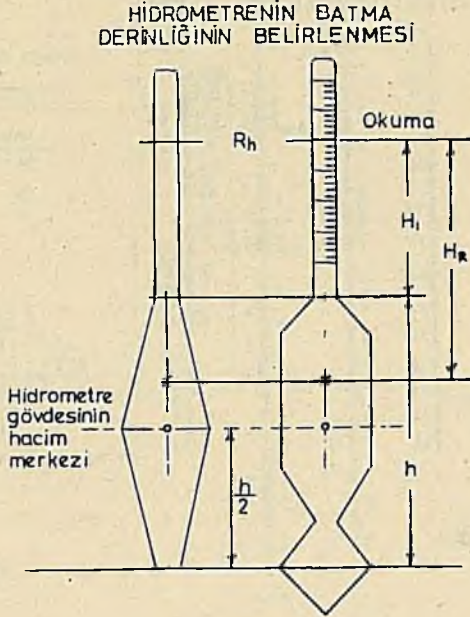
— Hidrometrenin hacmi (V_h) iki yöntemden biri ile bulunabilmektedir. Bu yöntemlerden birinde 1000 cm³ lük mezür kısmen su ile doldurulup, hidrometre bunun içine bastırılarak su hacminin artış miktarı ölçülmekte, diğerinde ise hidrometrenin yoğunluğu yaklaşık 1 olarak alınabileceğinden hidrometrenin gr olarak ağırlığı, cm³ olarak hacim kabul edilmektedir. İki yöntemde de ölçüye giren hidrometre sapının hacmi hesaba dahil edilmemektedir.

— Mezürün kesit alanı (A) iki taksimat meselâ 0 - 900 arasındaki mesafenin ölçülmesi ve bu mesafenin bu iki işaret arasındaki hacme bölünmesi ile bulunmaktadır.

— Hidrometre sapının en alt kısmındaki taksimat işareti ile diğer ana taksimat işaretleri arasındaki mesafeler (R_h) ölçülmektedir.

— Hidrometrenin şişkin gövdesinden en yakın taksimat işaretine kadar olan mesafe ölçülmektedir.

— Hidrometrenin boynundan en alt ucuna kadar olan yükseklik (h) ölçülmektedir (*Resim 9*).



Resim 9.

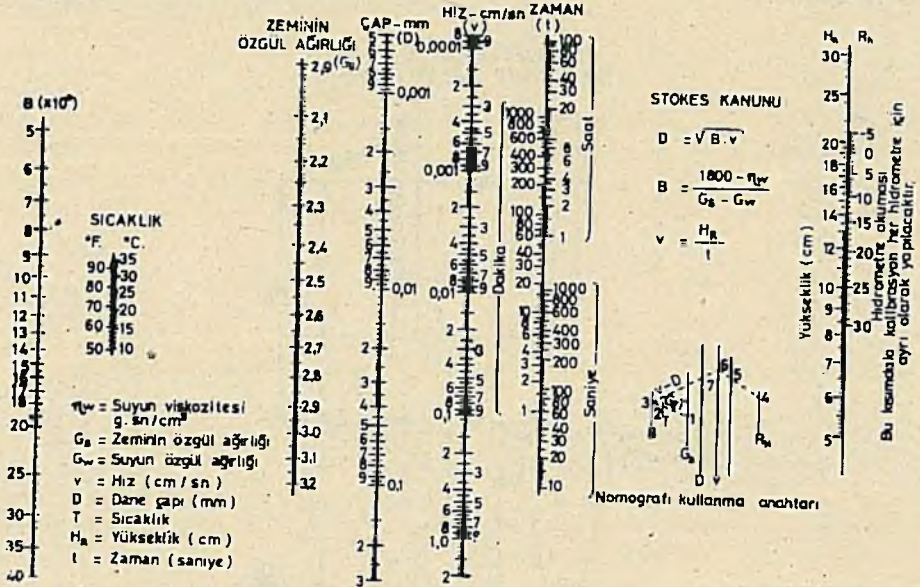
Hidrometrenin batma mesafesi mezürde bulunan karışımın üst seviyesinden karışımın içine daldırılacak hidrometre balonunun hacim merkezine olan mesafesidir. Karışımın üst seviyesi içine hidrometre daldırıldığında, bir bölme hizasına gelir. O halde hacim merkezinden her bir bölmeye olan mesafe belirlenirse batma mesafesi de bulunmuş olmaktadır. Fakat hidrometre karışım içine daldırıldığında, karışım, kendi hacmine eşit hacimdeki karışım kadar daha üst seviyeye yükselmektedir. Bu bakımdan daha üst seviyeye yükselmeye tekabül eden bu mesafeyi, hacim merkezi-okuma seviyesi arasındaki mesafeden çıkarmak gerekmektedir. Çıkarılacak bu mesafenin değeri :

$$\frac{1}{2} \cdot \frac{V_h}{A} \text{ dir.}$$

Burada V_h hidrometrenin hacmi, A da mezürün kesit alanıdır. Buna göre batma mesafesi :

$$H_B = H_1 + h_c - \frac{1}{2} \cdot \frac{V_h}{A}$$

formülü ile bulunmakta ve bu mesafe nomograf üzerinde tekabül ettiği hidrometre bölmesine göre işaretlenmektedir (Nomograf 1).



Nomograf 1.

(RRL, 1968 den)

Bu nomografda belli bir hidrometrenin hacim merkezine göre düzeltmesi yapılmış bulunmaktadır. Her hidrometre için ayrı bir düzeltme yapılması gerekmektedir.

Zemin su süspansiyonları saydam olmadıklarından menisküs altı görülememek-
te ve bundan dolayı hidrometre doğru okunmamaktadır. Bu nedenle görülebilen me-
nisküs üst seviyesinde yapılan okumada bir düzeltmenin yapılması gerekmektedir.
Bu düzeltme işlemi hidrometrenin içinde temiz su bulunan bir mezüre doldurularak
menisküsün üst ve alt seviyelerinde yapılan okumaların farkının düzeltme miktarı
olarak alınması suretiyle yapılmaktadır.

Yukarıda söz konusu nomograf bulunmadığı zaman tane çapı aşağıdaki şekilde
tesbit edilmektedir.

Hidrometre okumaları 68°F dan farklı sıcaklıkta alınmışsa Tablo 3 ve 4 deki
faktörlerden uygun olanı kullanılarak düzeltme yapılmaktadır. Bu tablolarda çe-
şitli dispersiyon maddeleri, 68°F (20°C) den farklı sıcaklıklar ve mezürdeki menis-
küsün yüksekliğine göre gerekli düzeltme değerlerini ihtiva etmektedir.

Düzeltilmiş hidrometre okumaları ile belirlenen süspansiyondaki dispersiyona
uğramış toprak yüzdesi, dispersiyona uğrayan zemin örneğinin miktarına ve özgül
ağırlığına bağlı bulunmakta olup bunun yüzde oranı aşağıdaki şekilde hesaplan-
maktadır.

152 H hidrometresi (A tipi) için

$$P = \frac{Ra}{W} \times 100$$

151 H hidrometresi (B tipi) için de :

$$P = \frac{1606(R-1)}{W} \times 100$$

Burada :

P = Süspansiyonda kalan dispers olmuş örneğin yüzde oranı

R = Düzeltilmiş hidrometre okuması

W = Dispersiyona tabi tutulan örneğin ilk ağırlığı ile higroskopik rutubet
farkı

a = Süspansiyonun yoğunluğuna bağlı bir sabit katsayı.

Zemin örneğinin önceden kabul edilen özgül ağırlığı (G) ve suyun 68°F (20°C)
deki yoğunluğu 1.000 olduğuna göre «a» değeri aşağıdaki formül yardımıyla hesap-
lanabilmektedir.

$$a = \frac{2.6500 - 1.000}{2.6500} \times \frac{G}{G - 1.000}$$

Değişik özgül ağırlıklarının karşılığı olan «a» sabitleri aşağıda bir tablo halinde
verilmiş bulunmaktadır (Tablo 5).

Tablo 3.
152 H hidrometresi (A tipi hidrometre) için

Karışımın Sıcaklığı	Belirtilen dispersiyon maddeleri için hidrometre okumalarında yapılacak düzeltmeler			
	NaPO_3	$\text{Na}_{12}\text{PO}_{10}\text{O}_{31}$	$\text{Na}_2\text{P}_2\text{O}_{10}$	$\text{Na}_4\text{P}_4\text{O}_{13}$
Dereceler (F)	gr./lt.	gr./lt.	gr./lt.	gr./lt.
66	-7.4	-3.5	-3.5	-5.5
67	-7.2	-3.3	-3.3	-5.3
68	-6.9	-3.1	-3.1	-5.1
69	-6.7	-2.9	-2.9	-4.9
70	-6.5	-2.7	-2.7	-4.7
71	-6.3	-2.6	-2.6	-4.6
72	-6.1	-2.4	-2.4	-4.4
73	-5.8	-2.2	-2.2	-4.2
74	-5.6	-2.0	-2.0	-4.0
75	-5.4	-1.8	-1.8	-3.8
76	-5.2	-1.6	-1.6	-3.6
77	-4.9	-1.4	-1.4	-3.4
78	-4.7	-1.2	-1.2	-3.2
79	-4.5	-1.1	-1.1	-3.0
80	-4.3	-0.9	-0.9	-2.8
81	-4.1	-0.7	-0.7	-2.6
82	-3.8	-0.5	-0.5	-2.4
83	-3.6	-0.3	-0.3	-2.2
84	-3.4	-0.1	-0.1	-2.1
85	-3.2	+0.1	+0.1	-1.9
86	-3.0	+0.2	+0.2	-1.7
87	-2.7	+0.4	+0.4	-1.5
88	-2.5	+0.6	+0.6	-1.3
89	-2.3	+0.8	+0.8	-1.1
90	-2.1	+1.0	+1.0	-0.9
91	-1.9	+1.2	+1.2	-0.7
92	-1.7	+1.4	+1.4	-0.5
93	-1.4	+1.6	+1.6	-0.4
94	-1.2	+1.8	+1.8	-0.2
95	-1.0	+2.0	+2.0	-0.0
96	-0.8	+2.1	+2.1	+0.2
97	-0.6	+2.3	+2.3	+0.4
98	-0.4	+2.5	+2.5	+0.6

Tablo 4.
151 H hidrometresi (B tipi hidrometra) için

Karışımın Sıcaklığı	Belirtilen dispersiyon maddeleri için hidrometre okumalarında yapılacak düzeltmeler			
	NaPO ₂	Na ₁₁ P ₁₀ O ₁₁	Na ₅ P ₃ O ₁₀	Na ₂ P ₄ O ₁₁
Dereceler (C)	Özgül Ağr.	Özgül Ağr.	Özgül Ağr.	Özgül Ağr.
19	— .00456	— .00214	— .00214	— .00342
19.5	— .00443	— .00204	— .00204	— .00330
20	— .00430	— .00193	— .00193	— .00318
20.5	— .00418	— .00183	— .00183	— .00308
21	— .00404	— .00173	— .00173	— .00298
21.5	— .00392	— .00162	— .00162	— .00286
22	— .00379	— .00151	— .00151	— .00276
22.5	— .00367	— .00141	— .00141	— .00265
23	— .00354	— .00131	— .00131	— .00254
23.5	— .00342	— .00120	— .00120	— .00243
24	— .00329	— .00110	— .00110	— .00232
24.5	— .00316	— .00100	— .00100	— .00222
25	— .00304	— .00089	— .00089	— .00211
25.5	— .00292	— .00079	— .00079	— .00200
26	— .00280	— .00068	— .00068	— .00190
26.5	— .00267	— .00058	— .00058	— .00179
27	— .00255	— .00047	— .00047	— .00168
27.5	— .00244	— .00037	— .00037	— .00158
28	— .00232	— .00027	— .00027	— .00148
28.5	— .00220	— .00017	— .00017	— .00137
29	— .00207	— .00006	— .00006	— .00125
29.5	— .00195	+ .00004	+ .00004	— .00115
30	— .00184	+ .00014	+ .00014	— .00106
30.5	— .00171	+ .00025	+ .00025	— .00094
31	— .00158	+ .00035	+ .00035	— .00083
31.5	— .00146	+ .00046	+ .00046	— .00073
32	— .00134	+ .00057	+ .00057	— .00062
32.5	— .00122	+ .00068	+ .00068	— .00051
33	— .00110	+ .00079	+ .00079	— .00040
33.5	— .00097	+ .00089	+ .00089	— .00030
34	— .00085	+ .00099	+ .00099	— .00019
34.5	— .00073	+ .00110	+ .00110	— .00009
35	— .00061	+ .00121	+ .00121	+ .00002

Tablo 5.

Özgül ağırlıklar (G)	«a» sabiteleri
2.95	0.94
2.85	0.96
2.75	0.98
2.65	1.00
2.55	1.02
2.45	1.05
2.34	1.08

Bu tablodan incelediğimiz örneğin özgül ağırlığına en yakın olan değeri seçmek yeterli olmaktadır.

Çökmemiş toprağın toplu örneğe göre yüzde oranını bulmak için, daha önce bulunan deney örneğine göre yüzde oranı aşağıdaki faktörle çarpmak gerekmektedir.

$$\frac{100-10 \text{ No. lu eleğin üzerindeki kalın kısmın yüzde oranı}}{100}$$

100

Deney sırasında çökmeyen tanelerin en küçük çaplarının belirlenmesi işi stokes kanunu ile yapılmaktadır.

$$d = \sqrt{\frac{30 n \cdot L}{980(G - G_1)t}}$$

Bu formülde :

d = en büyük dane çapı (mm)

n = karışımda kullanılan sıvının viskosite emsali (Polses) (Burada bu sıvı sudur)

L = Belli bir süre periyodunda örnek danelerinin çökme mesafesi (cm)

t = Çökme (sedimentasyon) süresi (Dakika)

G = Danelerin özgül ağırlığı

G₁ = Süspansiyonu sağlayan sıvının özgül ağırlığı (Burada bu sıvı sudur ve özgül ağırlığı 1.0 dir.).

Belirlenmiş çökme süresine karşılık olan ve kabul edilen şartlar içinde süspansiyondaki en büyük dane çapları Tablo 6 dan bulunabilmektedir :

Tablo 6.

Süre (dakika)	En büyük dane çapı mm
2	0,040
5	0,026
15	0,015
30	0,010
60	0,0074
250	0,0036
1440	0,0015

Bu dane çapları, deney şartları için aşağıda açıklandığı şekilde özel düzeltme katsayıları ile düzeltilmekte ve tabloda verilen dane çapları için belirlenmiş bulunan aşağıdaki şartlar kabul edilmiş bulunmaktadır.

L = Danelerin çökme mesafesi sabit olup 17.5 cm dir.

n = Viskosite katsayısı, su için 68°F da 0,01005 poises'e eşittir.

G = Toprağın özgül ağırlığı, sabit olup 2,65 dir.

Kabul edilen şartlar dışındaki düzeltilmiş dane çapları da (d_p) aşağıda verilmiş bulunan formül yardımıyla hesap edilmektedir.

$$d_p = d \cdot K_L \cdot K_G \cdot K_N$$

Bu formülde

d_p = Düzeltilmiş dane çapı (mm)

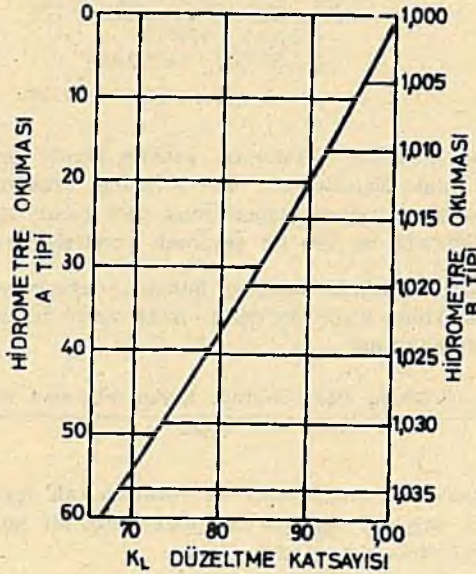
T = Tablo 6 dan bulunan dane çapı

K_L = Hidrometre okumaları birleşik düzeltme faktörü ile düzeltilmediği hallerde düzey okuma için Resim 10 dan alınıp kullanılacak düzeltme katsayısı.

K_G = Resim 11 den bulunan düzeltme katsayısı.

K_N = Resim 12 den bulunan düzeltme katsayısı.

K_L danelerin çökme mesafesine ait düzeltme katsayısıdır. Bu katsayı hidrometrenin karışımındaki durumuna göre değişmektedir. L mesafesi karışımın üst yüzeyinden hidrometrenin hacim merkezine olan mesafedir. Bu mesafelerin her hidro-

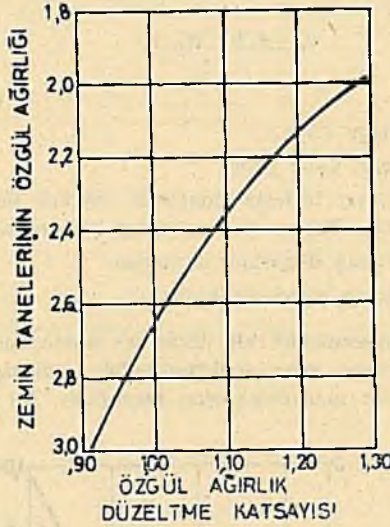


Resim 10.

metre için deney ile belirlenmesi gerekmektedir. Her okuma için K_L kıymeti aşağıda verilen formül yardımıyla bulunmaktadır :

$$K_L = \frac{\text{Hidrometrenin hacim merkezine olan mesafe}}{17,5}$$

K_o ve K_N katsayıları hidrometrenin durum ve şekline bağlı olmayıp doğrudan doğruya Resim 11 ve 12 den bulunmaktadır.



Resim 11.

200 No.lu elek üzerinde yıkanması yapılan zemin örneğinin elek analizinde her elek üzerinde kalan dispersiyona tabi tutulmuş örneğin yüzde oranı, her elek üzerinde kalan kısmın ağırlığını dispersiyona tabi tutulmuş toprağın fırında kurutulmuş ağırlığına bölmek ve 100 ile çarpmak suretiyle hesaplanmaktadır.

Bu yüzde oranları aşağıda verilmiş bulunan değerle çarpmak suretiyle de 10 No.lu elek üzerinde kalan kısım da dahil olmak üzere toplam deney örneğinin yüzde oranları hesaplanmaktadır :

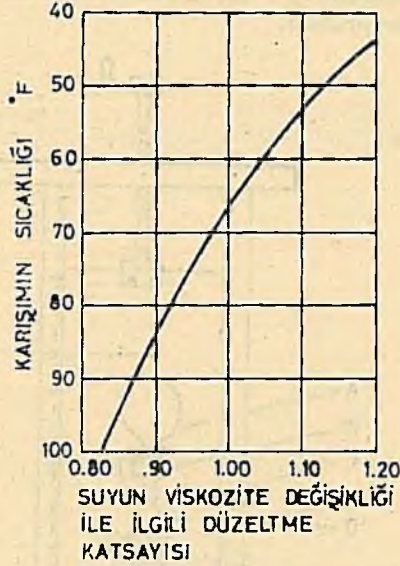
$$\frac{100-10 \text{ No.lu elek üzerinde kalan miktarın yüzde oranı}}{100}$$

Elde edilmiş bulunan sonuçlardan da yararlanarak Resim 3 de de gösterildiği gibi dane büyüklük dağılımı eğrisini yarı logaritmik bir kâğıt üzerinde noktalamak suretiyle çizmek mümkün olmaktadır.

2.3. Pipet yöntemi

Pipet yönteminde kullanılan araç ve gereç ve kimyasal maddeler şunlardır :

— Örnek alma pipeti : Basınç ve emme delikli 10 cm³ kapasitededir. Pipetin gerçek kapasitesi V_p , musluğun deliği de dahil olmak üzere suyla doldurma ve bu suyu hassas olarak tartma ile bulunmaktadır. Pipet sabit sıcaklıklı bir su banyosu



Resim 12.

üzerinde banyonun içinde bulunan örnek tüplerinin içine indirilebilecek biçimde terfibaata sahip olması gerekmektedir (Resim 13).

— 5 cm çapında, 34 cm kadar uzunluğunda 500 cm³ hacme kadar işaretlenmiş mezür.

— 25°C ye ayarlı ve $\pm 0,1^\circ\text{C}$ ye kadar hassasiyette sabit sıcaklıklı bir su banyosu (Resim 8).

— Devir hızı, 5000 devir/dak. dan yavaş olmayan bir mekanik karıştırıcı ve kenarları tel engelli karıştırma kabı (Resim 5).

— 1,5 inç, 3/4 inç, 3/8 inç ve 25, 72 ve 200 No.lu standart İngiliz elekleri.

— 100 gr kapasitede ve 0,001 gr hassasiyette ve 5 kg kapasitede ve 1 gr hassasiyette iki adet terazi.

— Termostatlı, 105 - 110°C a ayarlanmış kurutma fırını.

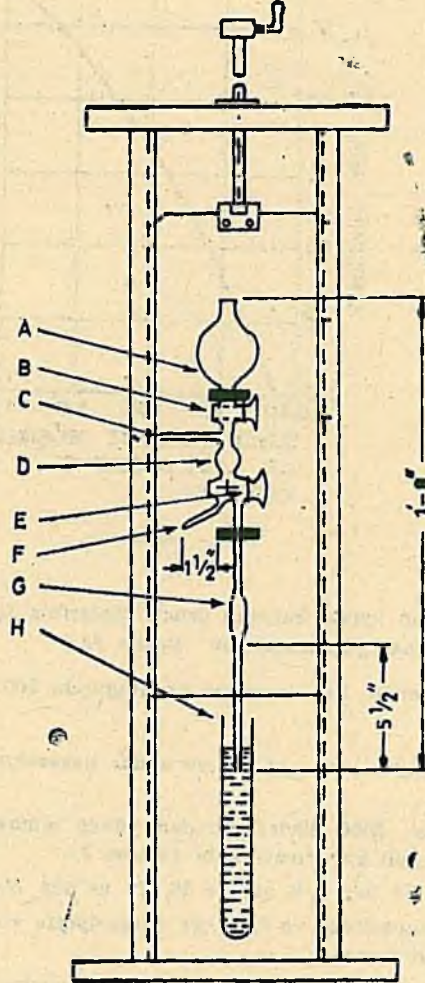
— Bir kronometre, desikatör, filtre hunisi, yıkama şişesi, pipet v.b.

— % 6 hidrojen peroksit, A.R. dereceli sodyum oksalat ve 0.2N Klorhidrik asit.

2.3.1. Pipet yönteminin uygulanması :

Bu yöntem İngiliz Standartlar Enstitüsü tarafından tavsiye edildiği için İngiliz standartlarına göre verilmiş bulunmaktadır.

7 No.lu standart İngiliz eleği üzerinde kalan miktar 1.5, 3/4, 3/8 ve 3/16 inç lik İngiliz eleklerinden geçirilmekte ve her eleğin üzerinde kalan miktarın ağırlığı tartılarak kayıt edilmektedir. Eleme işlemi yatay ve düşey hareket ile birlikte uygulanabilen çalkalama ile yapılmalı 3/4 inç çaptan küçük danelerin elekten geçmesi için elle müdahale yapılmamalıdır.



- A : 12 cm³ hacminde beton huni
 B : Musluk
 C : Emme tübü
 D : Emniyet
 E : Ölçü musluk
 F : Boşaltma tübü
 G : 10 cm³ lük standart pipet
 H : Çökeltme tübü

(RRL, 1968 den)

7 No.lu İngiliz eleğinden geçen miktarın 100 gr kadarı bir porselen kabin içine konulmakta ve bunun üzerine 100 cm³ kadar % 6 hidrojen peroksit dökülerek karışım 60°C den az hararett: hafifçe ısıtılmakta ve gaz çıkması bitene kadar karıştırılmaktadır. Organik maddeyi fazlaca havi zeminlerde bu reaksiyon günlerce uzayabilmekte ve yeniden hidrojen peroksit ilavesi gerekebilmektedir.

En sonunda ,karışım birkaç dakika kaynatılarak fazla hidrojen peroksit ayrışarak ortadan kaldırılmaktadır.

Karışım soğuduktan sonra içine 100 cm³ kadar 0.2N hidroklorik asit konarak kalsiyum bileşikleri ortadan kaldırılmaktadır. Kalsiyum bileşiklerinin fazla olduğu durumlarda daha fazla asit ilave etmek gerekebilmektedir. Karışım asitle karıştırıldıktan sonra Litmus kâğıdına asit reaksiyonu gösterdiği takdirde süzülerek ılık su ile yıkanmakta ve bu yıkama Litmus kâğıdında asit reaksiyonu göstermeyinceye kadar devam etmektedir. Filtre kâğıdında ıslak olarak kalan örnek, yıkama şişesi yardımıyla yıkanarak porselen bir kaba aktarılmaktadır. Porselen kab içindeki örnek fırında kurutularak tartılmaktadır. Kaybolan ağırlığı «ön muamelede kayıp» olarak bir kenara kaydetmek daima faydalıdır.

2.3.2. Dispersiyon (Dağılma):

Hazırlanmış örneğin 10 gr kadarı dikkatle tartılıp temiz bir potaya konulmakta ve üzerine 100 cm³ damıtık su ilave olunmaktadır. Buna 50 cm³ kadar 8 gr/litre konsantrasyonda sodyum oksalat solüsyonu ilave edilmektedir. Karışım 10 dakika kadar ısıtılarak ve yüksek hızlı karıştırıcının özel telli karıştırma kabına boşaltılmaktadır. Bu boşaltma işi yıkama şişesinden kaba su fıskırtarak tamamlanmaktadır. Yalnız burada kullanılan suyun 150 cm³ den fazla olmamasına dikkat etmek gereklidir. Örnek ve su karışımı karıştırıcıda (mikserde) 15 dakika kadar bırakılarak karıştırılmaktadır.

Karışım daha sonra mikserden alınarak 200 No.lu standart İngiliz eleğinden, yine yıkama şişesinden 150 cm³ den fazla su kullanmamak koşulu ile yıkanmaktadır. Elekten geçen örnek ve su bundan sonra 50 cm³ hacmindeki mezure aktarılma ve karışımın hacmi, damıtık su ilavesi ile 500 cm³ e tamamlanmaktadır.

200 No.lu eleğin üzerinde kalan malzeme, elek fırına konulmak suretiyle kurutulmakta ve kurutulan örnek 25, 72 ve 200 No.lu standart İngiliz eleklerinden elenerek her eleğin üzerinde kalan kısım uygun kaplara aktarılıp tartılmaktadır. Bunlar zemindeki kaba, orta ve ince kum miktarları (W_{KK} , W_{OK} , $W_{İK}$) olarak kaydedilmektedir. Kum fraksiyonunun daha iyi belirlenmesi için kuru eleme tercih edilmelidir. Çünkü ıslak elemelerde mevcut yüzey gerilimi kuvvetleri tarafından elek delikleri arasında tutulan su, 200 No.lu eleğin deliklerini ufalatarak bu elek üzerinde, elek çapından daha küçük danelerin kalmasına neden olmaktadır.

2.3.3. Sedimentasyon (Çökeltme):

500 cm³ karışımı havi mezür, 500 cm³ ü gösteren işarete kadar sabit sıcaklıklı su banyosuna batırılmakta, banyoda bir saat bırakıldıktan sonra karışımın sıcaklığı 25°C olmaktadır. Sonra mezürün ağzına lastik bir tıpa takılmakta ve banyodan çıkarılarak çok sayıda alt üst edilerek karıştırılmaktadır. Lastik tıpa çalkalamadan sonra çıkarılmakta ve mezür tekrar banyoya konmakta ve bu an sıfır noktası kabul edilerek kronometre hemen çalıştırılmaktadır. Çökeltme 4 dakika 8 saniye devam ettikten sonra özel pipet yardımıyla karışımından 10 cm³ (V_p) alınmakta ve bu

örnek bir cam kaba konarak fırında kurutularak 10 cm³ örnek içindeki danelerin ağırlığı tartılarak bulunmaktadır. 500 cm³ lük karışımdaki katı maddelerin ağırlığı (W₁) aşağıdaki şekilde hesaplanmaktadır.

$$W_1 = \frac{\text{örnekteki katı madde ağırlığı}}{V_p} \times 500 \text{ (gr)}$$

Burada V_p pipetin hacmidir.

Yukarıda açıklanmış bulunan örnek alma işlemi, çökeltme başladıktan 46 dakika ve 6 saat 54 dakika sonra olmak üzere iki kez tekrarlanmaktadır. Bu iki kez yapılan çökeltme sırasında mezür her defasında yeniden çalkalanmalıdır. Pipetle alınan örneklerdeki katı maddelerin miktarları yukarıda daha önceden verildiği şekilde kurutulup tartılarak bulunmakta ve 500 cm³ karışımdaki katı madde miktarları (W₂) ve (W₃) olarak hesaplanmaktadır.

Bu yöntemde pipetle örnek alma işlemi çok önemlidir. Pipet mezürün içine 20 saniye kadar bir süre içinde ve dikkatle indirilerek, örnek alınmadan önce süspansiyonda çalkantı yapılmamalıdır. Belirli süre sonra pipetin musluğu açılmakta ve örnek emilerek musluk tekrar kapatılmaktadır. Süspansiyonda herhangi bir çalkantı meydana gelmemesi için örnek alma süresi de 20 saniye kadar olmalıdır. Örneğin sabit bir hızla emilmesini sağlamak için pipete bir aspiratör ya da bir emme kaynağı bağlanabilmektedir. Emilmiş bulunan fazla süspansiyon musluğu boşaltma kısmına bağlanması ile dışarı damıtık su ile yıkanıp atıldıktan sonra musluk açılarak örnek altta bulunan örnek kabına boşaltılmaktadır. Bundan sonra pipet yapılarak kalmış olan daneleri de alabilmek maksadıyla yukarıdan boşaltılan damıtık su ile yıkanmaktadır.

Bundan sonra 1,5, 3/4, 3/8 inçlik standart İngiliz eleklerinin üzerinde kalan miktarlarla 3/16 inçlik elekten geçmiş bulunan miktarın ağırlık olarak yüzdeleri hesaplanmakta ve bu değerlerden, her elekten geçen miktarların toplam örneğe göre ağırlık olarak toplam yüzde oranları da bulunmaktadır.

$$(\%) \text{ Kaba kum} = \frac{W_{KK}}{W} \times 100 \text{ (2.0 mm - 0.6 mm)}$$

$$(\%) \text{ Orta kum} = \frac{W_{OK}}{W} \times 100 \text{ (0.6 mm - 0.2 mm)}$$

$$(\%) \text{ İnce kum} = \frac{W_{İK}}{W} \times 100 \text{ (0.2 mm - 0.06 mm)}$$

İnce, orta silt ve kil yüzde oranları da çökeltme analizi sonunda aşağıdaki formüller yardımıyla hesaplanmaktadır.

$$(\%) \text{ Orta silt} = \frac{W_1 - W_2}{W} \times 100 \text{ (0.02 mm - 0.006 mm)}$$

$$(\%) \text{ İnce silt} = \frac{W_2 - W_3}{W} \times 100 \text{ (0.006 mm - 0.002 mm)}$$

$$(\%) \text{ Kil} = \frac{W_3 - 0,400}{W} \times 100 \quad (< 0.002 \text{ mm})$$

En son formülde bulunan 0,400 sayısı kurutulmuş pipet kil örneği içinde mevcut olabilecek sodyum oksalat için yapılan düzeltme sayısıdır. Orijinal örnek içindeki kaba siltin (0.06 mm - 0.02 mm) yüzde oranı da yukarıda verilmiş bulunan tüm fraksiyonların yüzde oranlarının toplamının yüzden çıkarılması ile elde edilmektedir. Yukarıda açıklanmış bulunan analiz sonuçları ve hesaplamalardan sonra, elde edilen değerler yarı logaritmik bir kâğıt üzerinde değişik fraksiyonların yüzde oranları karşılığı olan dane çapı değerlerine göre noktalanmaktadır. Bir başka yol da, elde edilmiş bulunan bu sonuçların bir tablo halinde çakıl, kum, silt ve kilin ön muameleye tabi tutulmuş olan orjinal örneğine göre yüzde oranları olarak da, verilebilmektedir.

KAYNAKLAR

- AGG, THOMAS, R., 1940. *The Construction of Roads and Pavements* McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.
- AYKUT, TURGAY, 1974. *Toprakların Yol Mühendisliği Yönünden Sınıflandırılması* İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt XXIV, Sayı 1.
- AYKUT, TURGAY, 1977. *Yol İnşaatında Kullanılan Üst Yapı Malzemelerinin Araştırmaları Yöntemleri ve Özellikleri* İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt 27, Sayı 1.
- AYKUT, TURGAY, 1978. *Kastamonu Mıntıkası Orman Yollarında Üst Yapı Tekniği Üzerine Araştırmalar*. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınlarından, No. 2333/238.
- BAYOĞLU, SELÇUK, 1965. *Orman Yolları Yapımında Toprak İşleri Üzerine Araştırmalar*. Orman Genel Müdürlüğü Yayınlarından, No. 405/22.
- BAYOĞLU, SELÇUK, 1966. *Orman Yollarında Kullanılabilecek Hafif Kaplama Tipleri* İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt XVI, Sayı 2.
- BAYOĞLU, SELÇUK, 1968a. *Yol İnşaatında Zemin Etüdüleri*. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt XVIII, Sayı 1.
- BAYOĞLU, SELÇUK, 1968b. *Yol İnşaatı Yönünden Toprakların Sınıflandırılması*. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt XVIII, Sayı 2.
- BAYOĞLU, SELÇUK, 1969a. *Orman Yol Şebekelerinin Planlanması ve Orman Yollarının Makine ile İnşasıyla İlgili Esaslar*. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınlarından, No. 1449/148.
- BAYOĞLU, SELÇUK, 1969b. *Orman Yollarında Uygulanabilecek Stabilize Malzeme Kalınlıkları ve Bu Malzemelerin Özellikleri*. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt XIX, Sayı 1.
- BSI, 1957. *Site Investigations. British Standard Code of Practice CP 2001*. British Standard Institution (BSI), London.
- BSI, 1967. *Methods of Testing Soils for Civil Engineering Purposes*. British Standard 1377. British Standards Institution (BSI), London.
- EM, 1970. *Laboratory Soils Testing*. Department of the Army Office of the Chief of Engineers EM 1110 - 2 - 1906.
- HAFNER, FRANZ, 1971. *Forstlicher Strassen- und Wegebau*. Österreichischer Agrarverlag, Wien.

- JUMIKIS, A. R., 1967. *Introduction to Soil Mechanics*. D. Van Nostrand Company, Inc. London.
- KGM., 1953. *Yol Yapımında Toprak*. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınlarından, No. 18/10.
- KGM., 1960. *Karayolları Numune Alma Talimatnamesi*. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınlarından, No. 82.
- KGM., 1966. *Zemin Mekanikliği*. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınlarından, No. 144.
- KGM., 1967. *Toprak Mühendisliği Bilgileri ve Deneyleri*. Karayolları Genel Müdürlüğü Yayınlarından, No. 146.
- LAMBE, T. WILLIAM, 1964. *Soil Testing for Engineers*. John Wiley and Sons, Inc. New York.
- ROSENAK, SIDNEY, 1963. *Soil Mechanics*. B.T. Batsferd Ltd. London.
- RRL., 1968. *Soil Mechanics for Road Engineers*. Her Majesty's Stationary Office, London.
- SPANGLER, M. G., 1951. *Soil Engineering*. International Textbook Company, Scranton.
- TAVŞANOĞLU, FAİK, 1973. *Orman Transport Tesisleri ve Taşıtları*. İ.Ü. Orman Fakültesi Yayınlarından, No. 174/182.
- TAVŞANOĞLU, FAİK, 1974. *Toprak Stabilizasyonu ile İlgili Deneylerin Yapılması*. İ.Ü. Orman Fakültesi Dergisi, Seri B, Cilt XXIV, Sayı 2.
- TERZAGHI, K.; PECK, R. B., 1962. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley and Sons, Inc. London.
- UMAR, FARUK, 1972. *Yol İnşaatı Dersleri*. İ.T.Ü. İnşaat Fakültesi Ders Notları.
- WINTERKORN, H. F.; AICHHORN, W., 1960. *Grundlagen der Bodenstabilisierung im Strassen- und Wegebau*. Im Selbstverlag der Forschungsgesellschaft, Wien.
- WOODS, KENNETH, B., 1960. *Highway Engineering Handbook*. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York.