

## ZEMİNLERİN İNCE TANE BÜYÜKLÜĞÜNÜN DOĞRU BELİRLENMESİNİN ÖNEMİ

Mehmet ORHAN, Nihat Sinan IŞIK, Mustafa ÖZER  
Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Eğitimi Bölümü  
06500 Teknikokullar, ANKARA

### ÖZET

İnşaat mühendisliğinin ilgi alanına giren bir çok yapı işinde, zemin mekaniğinin önemi tartışılmaz olup, sebep sonuç ilişkisine dayanan laboratuvar ve arazi deney sonuçlarının değerlendirilmesi son derece önemlidir. Uzun yıllar ayakta kalması istenilen ve kullanıldığı sürece fonksiyonlarını kusursuz yerine getirmesi arzu edilen yapılarda aranması gereken en önemli husus, yapının oturduğu zemin özelliklerine göre tasarlanması ile mümkündür. Bu şekilde yapılan bir değerlendirme, zemin özelliklerinin doğru tespitinin önemini ortaya koymaktadır. Yapı-zemin ilişkisinde yapılan mühendislik yargılamalarında, özellikle arazi ve laboratuvar ortamında yapılan deneylerin parametrik sonuçları, hesaplamalara taban oluşturmaktadır. Bu yüzden bu safhada yapılacak basit hata, ihmal ve yetersiz veriler, mühendisi yanlış yola yönlendirecektir.

Ülkemizde “Zemin Etüt Raporu” olarak hazırlanan bir çok raporda, yukarıda ifade edilen durumlar oldukça yaygın olarak gözlenebilmektedir. Bu incelemede, ilk bakışta en çok dikkati çeken “ince tane boyutu” ve miktarlarının belirlenmesine yönelik deneylerin ihmalı görülmektedir. Halbuki bu çalışmada da kısaca özetlenen bazı mühendislik uygulamalarında, bu verilerin belirleyici veya yoruma yardımcı oldukları görülmektedir. Özellikle kil olarak tanımlanan 0.002 mm boyut altı malzemelerin zemin içindeki miktar ve yapısının önemi göz önüne alındığında, zemin deneylerinde “ince tane büyüklüğü” ve miktarlarının doğru belirlenmesinin önemi daha iyi anlaşılacaktır.

**Anahtar Kelimeler:** Zemin Deneyleri, İnce Tane Büyüklüğü, Killi ve sitli zeminler.

### IMPORTANCE OF FINE GRAINSIZE DISTRIBUTION OF SOILS WITH HIGH ACCURACY

#### ABSTRACT

Soil mechanics discipline is very important for every civil engineering project and for soil mechanics discipline, laboratory and in-situ tests are vital. A stable and economical design can be achieved by designing the foundations of the structure according to soil tests. This requirement shows the importance of soil tests. Any mistake during soil testing may result in an inappropriate design.

In our country, a lot of soil investigation report involves inadequate soil tests. Especially determination of grain size distribution of fine-grained soils regarded as unnecessary. However a number of geotechnical applications require the determination of grain size distribution of fine-grained soils. Especially clay-sized particles ( $\leq 0.002$  mm) are very important from soils behaviour point of view.

**Key Words:** Soil Tests, Fine Grained Soil Size Distribution, Silty and Clayey Soils

#### 1.GİRİŞ

Mühendislik uygulamalarında Zemin mekaniği arazi ve laboratuvar deney sonuçlarının önemi tartışılmayacak kadar büyüktür. Zira mühendisin yargı ve yorumları, somut olarak elde edilen zemin parametreleriyle oldukça ilişkilidir. Bu yüzden, laboratuvar ve arazi deney sonuçlarının yeterli ve doğru sonuçlar vermesi son derece önem kazanmaktadır. Zemin mekaniği ve zeminin yapılarla olan ilişkisi insanlık tarihi kadar eski olmakla beraber, günümüzdeki anlamda deneysel ve bilimsel yaklaşımlar bir iki asırlık zaman kesitini kapsamaktadır ki, buda endüstri devrimi ile başlayan gelişmelere paralel ortaya çıkan yol, baraj, büyük kanal, toplu yapılaşma vb. inşa işleri ile değer kazanan bir olay olarak ortaya çıkmıştır. Ülkemizde ise, özellikle ilk yapılan baraj ve karayolu çalış-

malarında görülen zemin etüt değerlendirmeleri, sonraları bazı özel ve toplu konut yapı alanları, atık ve depolama sahaları vb. alanlara doğru yayılmıştır. Ama ne yazık ki, dünyanın en önemli deprem kuşağında bulunmamıza ve çok sayıda can ve mal kayıplı deprem yaşamamıza rağmen, konut vb yapılaşmalarda zemin mekaniğinin önemi konusunda yeterli dersleri almadığımız görülmektedir. Özellikle en son yaşanan 17 Ağustos ve 12 Kasım depremleri bu gerçeği yüzümüze acı bir şekilde vurmuştur. Bundan sonra alınan acil tedbirler yavaş da olsa sonuç vermeye başlamasına rağmen, bu sefer de yetersiz ve duyarsız teknik elamanlar ve kontroller sayesinde bir diğer çıkmazın içine girildiği söylenebilir.

Mevcut uygulamalarda görülen bir çok ihmal ve eksik içinden, bu incelemede; “zemin etüt raporu” olarak hazırlanan arazi ve laboratuvar araştırma ve sonuçlarından “ince tane büyüklüğü” ve miktarlarının mühendislik hesaplamalarındaki yeri ve önemi tartışılmaya çalışılacaktır. Yukarıda zikredilen raporlar dikkatli bir gözle incelendiğinde görüleceği gibi, ne yazık ki bir çok deney raporunda, No:200 altı elek ile sınırlandırabileceğimiz “ince tane büyüklüğü” sonuçları verilmemekte, verilenlerin ise doğruluk değerleri tartışılacak boyutlardadır.

Zemin mekaniği laboratuvar uygulamalarında, ince taneli zeminlerin tane dağılımı genellikle sedimentasyon tekniği ile belirlenmektedir. Stokes yasası prensiplerine göre uygulanan bu yöntemde, bir çökeltme silindrinde su ile karıştırılarak çökmeye bırakılan farklı büyüklüklerdeki tanelerin, farklı hızlarda çökecekleri esastan hareketle, büyüklüklerinin belirlenmesi prensibi uygulanır (1). Ülkemizde ve birçok ülkede Pipet ve hidrometrik analiz olmak üzere iki şekilde uygulanan bu yöntem, Stokes yasasına dayalı olarak, zemin taneleri için birçok kabulün göz önüne alınması neticesi, değerlendirmelerde bazı hataların oluşmasına neden olmaktadır (2).

Son zamanlarda, lazer ışınlarının mühendislik alanında kullanılmaya başlanması ile birlikte, çeşitli büyüklükteki tanelerin, lazer ışınlarını farklı açılarda kırıldığı prensibinden hareketle, zemin tanelerinin büyüklüğünün belirlenmesinde de kullanılmaya başlanmıştır (3). Böylece bu yöntemde alternatif olarak, zemin tanelerinin ölçülmesi konusunda da yaygınlık kazanmaya başlamıştır (4).

Geoteknik mühendisliğinde tane büyüklüğü ve granülometri eğrisi; zemin türünün belirlenmesi, yol ve benzeri yapım işlerinde dolgu malzemesinin seçimi, çeşitli drenaj işlerinde malzeme seçimi, toprak dolgu barajlarda filtre malzemesi ve geçirimsiz kil çekirdek malzemesinin seçimi gibi uygulamalarda oldukça önemli olup, diğer bazı zemin uygulamalarında; zemin enjeksiyonu, sıvılaşma analizi, aktivite değeri, şişme potansiyeli ve permeabilite değerinin belirlenmesinde de ince tane yüzdesi (özellikle kil yüzdesi) önemli bir parametre olmaktadır. Aşağıda açıklanan bazı örnek uygulamalarda, ince tane oranların kullanıldığı

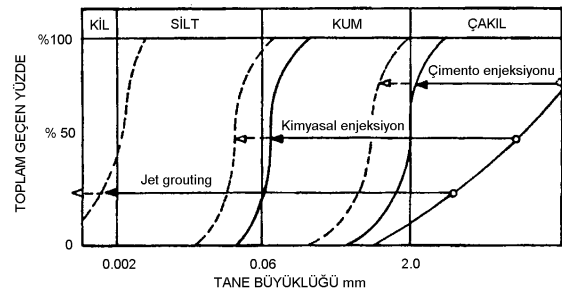
kriterler ve bu değerlerin doğru belirlenmesinin önemi vurgulanmaya çalışılmıştır.

### 1.1. Dolgu ve Yol Yapımı

Özellikle karayolu, havalimanı vb yapı işlerinde uygulanan dolgu ve temel tabakaları kriterleri, Bayındırlık Bakanlığı-Kara Yolları Genel Müdürlüğü tarafından yayımlanan “Yollar Fenni Şartnamesi”de belirtilmiştir. Diğer kurum ve kuruluşlar ile tüzel kişilerde genellikle bu kaynağı referans almaktadır. Bu yüzden her türlü dolgu, alt temel ve temel tabakalarında kullanılacak olan malzemelerin “Yollar Fenni Şartnamesi”nde belirtilen şartları sağlaması gerekmektedir (5). Bu şartnamelerden tane büyüklüğü ile ilgili bazı örnekler verecek olursak; dona hassas olmayan taban malzemesinde 0.075 mm’den daha büyük tanelerin miktarı % 12’den fazla olmaması, alt temel ve temel tabakası için kullanılacak malzemenin tane büyüklüğü dağılımının şartname limitleri içinde olması gösterilebilir (6). Bunun yanında kil miktarına bağlı olarak yapılacak yorumlarda, ince malzeme oranına ihtiyaç duyulmaktadır.

### 1.2. Zemin Enjeksiyonu

Geoteknik mühendisliğinde karşılaşılan en önemli problemlerden biri, yapılaşma için seçilen sahanın, planlanan yapıya uygun şartlar göstermemesidir. Eğer söz konusu sahadan vazgeçilme durumu yoksa, ya yapı özellikleri bu duruma uygun hale getirilecek yada zemin özelliklerinin iyileştirilmesi yoluna gidilecektir. Pratikte yaygın olarak ikinci yöntem tercih edilmekte olup, bir çok zemin iyileştirme yöntemi arasında, özellikle zeminin su geçirgenliğini azaltmak ve/veya mekanik özelliklerini artırmak amacıyla uygulanan “zemin enjeksiyonu”, önemli yer kaplamaktadır. Zemin enjeksiyon işlerinde kullanılan çeşitli kimyasalların, çimento vb malzemelerin, enjeksiyon sırasında zeminin bünyesindeki çatlak, yarık ve boşlukları doldurması istenir. Bu uygulamalarda tatbik edilen enjeksiyon malzemesinin zemin tarafından emilmesi ve yayılabilmesi büyük ölçüde zeminin tane dağılım özelliğine ve içerdiği kil oranına bağlıdır. Bununla ilgili bir grafik, aşağıdaki Şekil 1’de gösterilmiştir (7). Görüleceği gibi, özellikle yaygın kullanım alanı bulunan “jet-grouting” çalışmalarında 0.06-0.002mm arası tane oranlarının belirlenmesi oldukça önem kazanmaktadır.



Şekil 1. Jet grouting uygulanabilecek zemin tipi aralığı.

### 1.3. Zemin Sıvılaşması

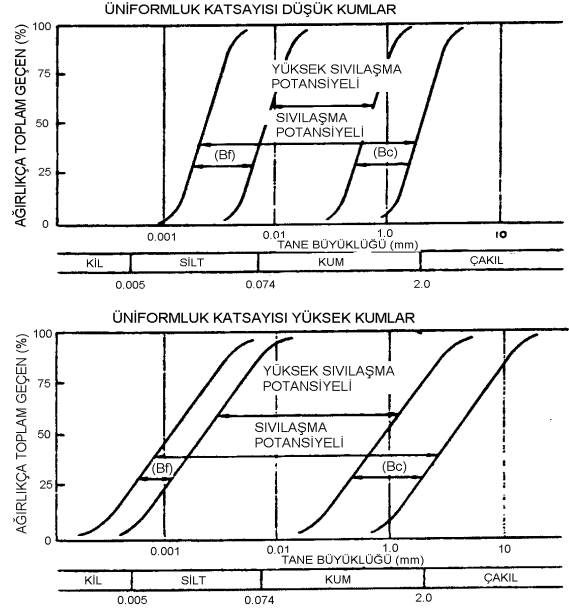
Özellikle depremler sonrası yapılan araştırma ve incelemelerde; yapılarda meydana gelen hasarların önemli bir bölümü, zemin sıvılaşması ile meydana gelmektedir. Sıvılaşma; deprem etkisiyle oluşan dinamik kuvvetlerle, genellikle kumlu, siltli, ince çakıllı vb. zemin ortamlarda görülen, boşluk suyu basıncı ve efektif gerilmelerin eşitlendiği durumlarda ortaya çıkan kum fıskırmaları ve zemin mukavemetini kaybetme olarak tanımlanabilir. Böyle durumlarda mevcut yapılar yan yatabilir, zemine penetre olabilir, farklı oturmalarından dolayı yıkılabilir vb. olumsuz durumlarla karşılaşabilir. Son 30-40 yıl içindeki büyük depremlerde sebep-sonuç ilişkisinin en önemli tespitleri içinde olan bu olay, yapılaşma ve yapı alanları için sıvılaşma riski hesaplamalarının yapılmasını şart koşar hale getirmiştir. Ülkemizde de özellikle son büyük depremlerde oldukça yaygın etkisi görülen "sıvılaşma" problemi, önceden bilinmesi gereken ve önlemlerinin alınması gereken bir konudur.

Yukarıda temelleri basitçe açıklanan sıvılaşma riski, önceki yıllardaki depremlerde oluşan sıvılaşma olaylarında, sadece kumlu-siltli ve çakıllı zeminlerde meydana geleceği doğrultusunda yaygın bir görüş varken, son yıllarda meydana gelen depremlerden sonra yapılan çalışmalarda, killi zeminlerde de sıvılaşmanın olabileceği veya taşıma kabiliyetinin azalabileceğini ortaya çıkaran görüşler değer kazanmaya başlamıştır. Bununla ilgili Seed ve Idris'in yaptıkları çalışmalarda;

- Zeminin içinde 0.005 mm.den küçük tanelerin oranı %15'den daha az ise,
- Likit limit değeri %35'den az ise,
- Zeminin doğal su muhtevası, likit limitinin 0.9 katından düşük olması

durumlarında, bu özellikteki zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin olabileceği öngörülmüştür (8). Ayrıca, bazı çalışmalar sonucunda zeminlerin tane dağılım eğrisine göre sıvılaşma potansiyeline sahip olup olmadığını öngören zarf eğrileri belirlenmiştir. Böyle bir zarf eğrisi, aşağıda Şekil 2'de sunul-

muştur (9). Bu yaklaşımlarda, bir zemin ortamının sıvılaşma riski taşıyıp taşımadığının belirlenmesinde, en basit ve hızlı yöntemin, 0.005 mm altı malzeme oranlarının doğru belirlenmesinin önemi görülmektedir.



Şekil 2. Sıvılaşma potansiyeli olan zeminlerin tane dağılım aralıkları.

### 1.4. Killerin Aktivitesi ve Şişme Potansiyeli

Skempton (1953) yaptığı çalışmaların neticesinde Şekil 3'de gösterildiği gibi plastisite indeksinin kil yüzdesine bağlı olduğunu ve belirli kil mineralleri için "Plastisite İndeksi/Kil Yüzdesi" oranının sabit olduğunu göstermiştir (4). Ayrıca, zeminlerin plastisite indeksi/kil yüzdesi oranı arttıkça hacim değiştirme potansiyellerinin de artacağı tespit edilmiş ve bu orana "aktivite" adı verilerek aşağıdaki gibi ifade edilmiştir (10).

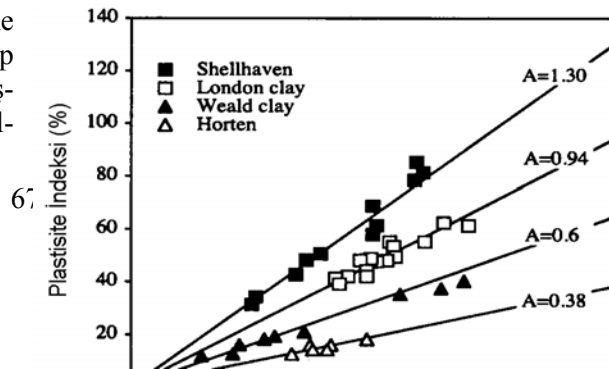
$$A = \frac{PI (\%)}{PC (\%)} \quad (\text{Skempton, 1953})$$

Burada;

A: Aktivite

PI: Plastisite İndeksi

PC: Zemin içindeki kil yüzdesi



Tanımlama	Aktivite değeri
Aktif olmayan killer	< 0.75
Normal killer	0.75 – 1.25
Aktif killer	1.25 – 2.00
Yüksek aktiviteli killer (örneğin bentonit)	> 2.00 (6 yada daha büyük)

Şekil 3. Plastisite indeksi ile kil yüzdesi ilişkisi Skempton 1953 (J. P. Bardet)

Mineral yapısı aynı olan killerin aktivite değerleri de genellikle sabit olmakta veya çok küçük bir aralıkta değişmektedir. Örneğin kaolinit ve illit gibi kil minerallerinin aktiviteleri nispeten küçük olmasına rağmen montmorillonit tipi minerallerin, özellikle sodyum-montmorillonitin aktivitesi oldukça yüksek çıkmaktadır (Tablo.1). Bu mineral tipine sahip killerin likit limit değerleri arasında da oldukça büyük farklar bulunmaktadır. Örneğin; kaolinit tipi mineralin likit limiti 40 – 60 arasında, illitin 80 – 120 arasında iken montmorillonitin 700'e kadar çıkabilmektedir (10). Montmorillonitin aktivitesinin ve likit limitinin yüksek olmasının nedeni, bu mineralin tabakaları arasındaki bağın zayıf olması ve büyük miktarlardaki suyu tabakalar arasına infiltre edebilmesidir (11). Bu durum Montmorillonit tipi mineralin bünyesine su aldığı büyük miktarlarda şişebileceğinin bir göstergesidir. Buradan hareketle Aktivitesi yüksek olan zeminlerin şişme potansiyelinin de yüksek olacağı sonucu çıkmaktadır (12).

Tablo 1. Kil minerallerinin aktivite değerleri. (Skempton (1953), Mitchell (1993)) (4).

Kil Minerali	Aktivite Değeri
Na-montmorillonite	4 – 7
Ca-montmorillonite	1.5
İllit	0.5 – 1.3
Kaolinite	0.3 – 0.5
Halloysite (dehidrated)	0.5
Halloysite (hidrated)	0.1
Mica	0.2
Calcite	0.2
Quartz	0.0

Ayrıca killi zeminler aktivitelerine göre dört sınıfa ayrılmışlardır. Bu sınıflandırma aşağıdaki Tablo 2'de gösterilmiştir (11).

Tablo 2. Killerin aktivitesine göre sınıflandırma

Bu çalışmaların yanı sıra Seed, Woodward ve Lundgren (1962) tarafından killi zeminlerin aktivitesi ve şişme potansiyeli arasında ampirik bir bağıntı olduğu ifade edilmiştir (13). Bu bağıntı;

$$S = 3.6 \times 10^{-5} \times A^{2.44} \times C^{3.44}$$

Burada ;

S : Şişme potansiyeli

A : Aktivite değeri

C : Kil yüzdesi (< 0.002 mm)

### 1.5. Killi zeminlerin Geçirimsizliği

Zeminlerin suyu geçirimsizliği, öncelikle tane boyutuna ve şekline bağlı olmakla birlikte, boşlukların şekline ve yerleşme niteliğine, boşluk oranına, doygunluk derecesine ve sıklığına bağlıdır. Çeşitli araştırmacılar tarafından zeminlerin geçirimsizliği (permeabilitesi) ile, bazı fiziksel karakteristikleri arasında korelasyonlar kurularak ampirik formüller ortaya konulmuştur. Bunlardan, Hazen (1892) tarafından özellikle kumlu zeminlerin su geçirimsizliğini hesaplamak için efektif tane çapı ( $D_{10}$ ) ile su geçirgenlik (permeabilite) katsayısı arasında kurulan ilişkidir (4).

Bu ilişki,  $D_{10} = 0.1 - 3.0$  mm arasında olan temiz-üniform kumlar için aşağıdaki gibi verilmiştir (12).

$$k = C \cdot D_{10}^2 \quad (\text{cm/s})$$

Burada ;

$D_{10}$  : Efektif tane çapı (mm)

C : (0.4–1.2) arasında bir katsayı. Temiz kumlar için  $\cong 1$  alınması uygundur (12).

## 2. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Yukarıda verilen birkaç mühendislik uygulaması ve değerlendirmesine ait örnekte de görüleceği üzere, tane büyüklüğü dağılımı (granulometri) ve özellikle ince tane dağılım miktarı ve

oranlarının bilinmesi, mühendislik yargısında oldukça önemli yer kaplamaktadır. İnce tane grubuna giren killerin, zeminin birçok fiziksel ve mekanik özelliğinde etkili olduğu yine bu açıklamalardan anlaşılmaktadır. Bu yüzden, daha önce vurgulandığı gibi, mevcut zemin etüt raporlarının birçoğunda ihmal edilen ince tane oranları ve özellikle kil yüzdesinin belirlenmemesi (<0.002 mm altı malzeme), değerlendirmelerde eksik parametre kullanılmasına ve hatalı yargılara varılmasına yol açtığı söylenebilir. Bu açıklamaların yanında dikkat çeken bir diğer önemli husus, ince tane oranlarının belirlenmesinde uygulanan hidrometre, pipet ve diğer alternatif yöntemlerle elde edilen verilerin doğru alınması gelmektedir ki, ortaya konulan hatalı verilerle yapılan mühendislik değerlendirmeleri, mal ve can emniyetini tehdit eden sonuçlara yol açabilmektedir. Bütün bu açıklamalar ışığında, bu çalışmada, hiç şüphesiz tüm laboratuvar ve arazi deney sonuçlarının doğruluk ve yeterliliklerinin ne denli önemli olduğu belirtilip, yukarıda vurgulanan bazı örneklerde de görüldüğü gibi, ince tane oranlarının doğru belirlenmesinin önemi ortaya konulmaya çalışılmıştır.

### 3. KAYNAKLAR

1. Das, B. M., 1998, Principles of Geotechnical Engineering, International Thomson Publ., Boston.
2. Vickers, B., 1983, Laboratory Work In Soil Mechanics, Granada Publishing, England.
3. Rawle, A., 1995, The Basic Principles of Particle Size Analysis, Malvern Instruments Ltd., Worcestershire, England.
4. (4) Bardet, J. P., 1997, Experimental Soil Mechanics, Prentice Hall, New Jersey.
5. Demirel, Z., Kadioğlu, M., v.d., 1991, Toprak ve Stabilizasyon Laboratuvarı El Kitabı, T.C. Karayolları Gen. Müd. Yayınları, Ankara.
6. T.C. Karayolları Gen. Müd. Yollar Fenni Şartnamesi
7. Bell, F. G., 1993, Engineering Treatment of Soil, Erfn Spon, Great Britain.
8. Lew, M., 2001, Geotechnical Desing Consideration, (The Seismic Desing Handbok, 2nd Edition, Edited By Farzad Naeim) Cluver Academic Publisher, London.
9. Port and Harbour Research Institute, Ministry of Transport Japan (Edited), 1997, Handbook on Liquefaction Demediation of Reclaimed Land, Balkema, Netherlands.
10. Head, K. H., 1992, Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 1, 2nd Edition, John Wiley and Sons, Inc., London.
11. Budhu, M., 2000, Soil Mechanics and Foundations, John Wiley and Sons, Inc., New York.
12. Bowles, J. E., 1992, Engineering Properties of Soils and Their Measurement, Irvin/Mc Graw-Hill, USA.
13. Şekercioğlu, E., 1998, Yapıların Projelendirilmesinde Mühendislik Jeolojisi, Jeoloji Müh. Odası Yayınları, Ankara.