

## INVESTIGATION OF LASER DIFFRACTION and SEDIMENTATION METHODS WHICH ARE USED FOR THE DETERMINATION OF GRAIN SIZE DISTRIBUTION OF FINE GRAINED SOILS

Mehmet ORHAN\*, Mustafa ÖZER, Nihat Sinan IŞIK  
Gazi Üniv. Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, 06500 Teknikokullar, Ankara, TÜRKİYE  
e-mail: orhanm@gazi.edu.tr

### ABSTRACT

Grain size distribution determination for soils is very important in soil mechanics discipline. In order to predict the soil behaviour it is necessary to know grain size distribution. Soils can be broadly classified as coarse and fine-grained. Grain size distribution of coarse-grained soils like sand and gravel are determined by sieving. However sieving cannot be used for clay and silt sized particles, for these soils sedimentation techniques based on Stokes Law are used. Sedimentation techniques, which can be classified as pipette and hydrometer methods, utilize setting velocities of grains in water, to determine grain size. Stokes law involves a number of simplifying assumptions and these assumptions cause some mistakes in grain size determination. In this study principles and details of the sedimentation technique and the laser diffraction technique, which is a rather new technique, were given and measurement mistakes due to the assumption of Stokes Law were briefly discussed.

*Key Words: Grain Size Distribution, Sedimentation, Laser Diffraction Method*

## İNCE TANELİ ZEMİNLERİN GRONÜLOMETRİSİNİN BELİRLENMESİNDE KULLANILAN SEDİMENTASYON ve LAZER DİFRAKSİYON METODLARININ İRDELENMESİ

### ÖZET

Zemin Mekanğinde, zemin tanelerinin büyüklüğünün belirlenmesi önemli yer tutar. Zemin tanelerinin büyüklüğü ve oranlarının bilinmesi, zemin davranışının tahmin edilmesi açısından gereklidir. Zeminler, iri ve ince taneli olmak üzere başlıca iki grupta değerlendirilmektedir. Çakıl ve kum gibi iri taneli zemin gurubuna giren ve çeşitli tanımlama sistemlerine göre No:200 (0.074 mm) elek üstü malzemeler, eleklerden elenerek tane büyüklüğü belirlenebilmektedir. Diğer yandan No:200 elek altına geçen ve ince taneli malzeme gurubunu temsil eden “kil ve silt” türü malzemelerin tane büyüklüğü, Stokes yasasına dayalı ve yaygın olarak kullanılan sedimantasyon tekniği ile belirlenmektedir. Pipet ve hidrometrik analiz olmak üzere iki şekilde uygulanan bu yöntemler, zemin tanelerinin bir sıvı içinde (su) çökelmeleri sırasındaki hızlarından faydalanarak, tane büyüklüklerinin belirlenmesi prensibini içerir. Bir çok kabuller içeren bu yasada, özellikle kil ve silt gibi ince tanelerin miktar ve büyüklüklerinin belirlenmesi, birtakım hataların yapılmasına neden olmaktadır. Bu araştırmada, özellikle ince taneli zeminlerin gronülometrik analizinin yapılmasında kullanılan sedimantasyon tekniği ile son zamanlarda kullanılmaya başlanan diğer yöntem olan “Lazer Difraksiyon Metodu” ve metodun prensipleri hakkında bilgi verilmiş ve aynı zamanda Stokes yasasında yapılan bir takım kabullerden kaynaklandığı düşünülen ölçüm hataları tartışılmıştır

*Anahtar Kelimeler: Gronülometrik Analiz, Sedimantasyon, Lazer Difraksiyon Metodu*

## 1.GİRİŞ

İnce taneli zeminlerin tane dağılımının belirlenmesinde, zemin mekaniği laboratuvarlarında yaygın olarak kullanılan yöntem, “Sedimentasyon Tekniği” olup, Stokes yasası prensiplerine göre uygulanan bu deney metodu, su ile karıştırılan zemin tanelerinin yaklaşık 45 cm yüksekliğindeki bir cam silindirde çökelmeye bırakılması ve farklı büyüklüklere sahip tanelerin farklı hızlarda çökecekleri esasından hareket edilerek büyüklüklerinin belirlenmesi prensibini içermektedir (1). Ülkemizde ve birçok ülkede Pipet ve hidrometrik analiz olmak üzere iki şekilde uygulanan bu yöntem, Stokes yasasına dayalı olarak, zemin taneleri için birçok kabulü göz önüne alındığından, bu uygulamalarda zemin tanelerinin gerçek büyüklüklerinin belirlenmesinde bazı hatalara yol açtığı düşünülmektedir (2).

Son zamanlarda, bir çok mühendislik alanında kullanım imkanı bulunan lazer ışınlarının, zemin mühendisliği kapsamında da değerlendirilmesiyle, çeşitli büyüklükteki tanelerin, lazer ışınlarını farklı açılarda kıldığı prensibinden hareketle, zemin tanelerinin büyüklüğünün belirlenmesinde de kullanılabilir olacağı görülmüştür (3). Ancak daha ziyade kimya, metalürji ve maden mühendisliği alanlarında hızla yaygınlaşan bu yöntem, zemin tanelerinin ölçülmesi konusunda da yaygınlık kazanmaya başlamıştır (4).

Lazer difraksiyon tekniği, (LDT) sedimentasyon tekniğinden oldukça farklı özellikte olup, tane boyutu ölçümlerinde bir miktar farklı sonuç verdiği görülmektedir (5). Bu farklılıkta, kararlı bir değişim olmadığı, zemin tanelerinin mineral tipi ve kristal yapısına bağlı olarak değişiklik gösterdiği düşünülmektedir.

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 zemin uygulamalarından; zemin enjeksiyonu, sıvılaşma analizi, aktivite değeri, şişme potansiyeli ve permeabilite değerinin belirlenmesinde de ince tane yüzdesi (özellikle kil yüzdesi) önemli bir parametre olmaktadır. Tane büyüklüğü dağılımının (granülometri) ve kil yüzdesinin (< 0,002 mm) geoteknik mühendisliği açısından önemi yapılan bu kısa açıklamada da görüleceği gibi, mühendislik yargısının doğru ortaya konulmasında sözü edilen oranların gerçeğe en yakın olarak belirlenmesi oldukça önem kazanmaktadır. Konu bu açıdan değerlendirildiğinde, geoteknik mühendisliğinde, zeminlerin küçük taneli kısımlarının (<0,075 mm) ve kil yüzdesinin belirlenmesi için yaygın olarak kullanılan sedimentasyon yöntemlerinden, “hidrometre yöntemi” ile teknolojinin getirdiği bir yenilik olan ancak zeminlerin tane boyutunun ölçülmesinde henüz yaygınlık kazanmayan “lazer difraksiyon” tekniğinin ölçüm teorileri ortaya konularak her iki yöntem irdelenmeye çalışılacaktır.

## 2. SEDİMENTASYON TEKNİĞİ

Geoteknik mühendisliğinde sedimentasyon analizi, eleklerle belirlenemeyecek kadar küçük boyutlu (<0,075 mm) zemin tanelerinin tane boyutunu ve toplam kütle

## 1. INTRODUCTION

Sedimentation technique is the most commonly used method for the determination of grain size distribution of fine grained soils and this method is based on stokes law. This test utilizing stokes law involves soil mixture to settle in a 45 cm log water filled cylinder; larger particles will settle with a higher speed (1). Pipette and hydrometer tests use stokes law as theoretical basis, both of these methods are common in Turkey and other countries. However stokes law involves assumptions which may cause errorous grain size measurements (2).

It has been recognized recently that laser light which is used for any engineering applications can be used for the determination of grain size of soils by using the information that different sized grains refract laser light with different angles (3). Laser diffraction method started to be used widely in soil mechanics recently (4).

Theory of the laser light diffraction technique (LDT) is very different from the sedimentation technique; therefore LDT yields different results from the sedimentation technique (5). It has been thought that this difference depends on the grain's crystal structure.

Grain size distribution is very important for geotechnical engineering applications such as soil classification, earth fill material selection, drainage material selection, injection, liquefaction analysis, swelling potential determination and estimation of permeability. In order to be able to take accurate engineering judgments, realistic grain size distribution determination is crucial for the above mentioned applications. In this article, theories and differences of the sedimentation and laser light diffraction techniques (LDT) are discussed briefly.

## 2. SEDIMENTATION TECHNIQUE

Sedimentation based analysis techniques such as hydrometer and pipette are used for the determination of grain size distribution of fine grained soils whose grain

içindeki yüzdelere belirlemek için uygulanır. Bunun için 0,075 mm'lik (No.200) elekten elenmiş kuru ağırlığı yaklaşık 50 g olan zemin numunesi kullanılır. Bu numune bazı ön işlemlerden (taneler arası topaklanmayı önlemek için, dağıtıcı madde ilavesi gibi) geçirildikten sonra, çapı genellikle 6,5 cm, yüksekliği ise 45 - 50 cm olan ve camdan yapılmış olan bir çöktürme silindirin içine boşaltılır ve üzerine su ilave edilerek hacmi 1000 cm<sup>3</sup> e tamamlanır. Böylece zemin-su karışımı (süspansiyon) elde edilir. Daha sonra çöktürme silindiri çalkalanarak zemin – su karışımının silindir boyunca her noktada aynı yoğunluğa gelmesi sağlanır ve silindir düz bir yüzeye yerleştirilir. Bu aşamada taneler hemen çökmeye başlayacaktır. Bu nedenle zaman ölçer (kronometre) hemen çalıştırılır ve arkasından belli sürelerin sonunda "hidrometre" ile ölçüm yapılmaya başlanır (6).

Büyük çaplı tanelerin çok kısa sürede, küçük çaplı tanelerin ise daha uzun sürede dibe çökeceği bilinen bir gerçektir. Başka bir deyişle büyük çaplı tanelerin çökme hızları, küçük çaplı tanelere göre daha yüksektir. Sedimentasyon analizinin temelini oluşturan bu düşünce Stokes (1891) tarafından ortaya atılarak incelenmiş ve tane çapları ile çökme hızları arasında bir ilişki olduğu matematiksel olarak ifade edilmiştir. Bazı kabullerin yapılması ile ortaya çıkan bu ifadeye literatürde "Stokes Kanunu" adı verilmektedir (7). Sadece tek bir kürenin su içinde çökmesini inceleyen ve bunu genelleyen Stokes kanununu daha detaylı ele alacak olursak;

Çapı "D" olan bir küre, viskozitesi  $\eta$  olan bir sıvının içinde U limit hızı ile aşağı doğru düşerse üç farklı kuvvete maruz kalır (4). Bunlar;

$$\text{Kürenin ağırlığı} = \frac{1}{6} \pi D^3 \gamma_s \quad (+)$$

$$\text{Sürüklenme direnci} = 3 \pi \eta U D \quad (-)$$

$$\text{Suyun yüzdürme kuvveti} = \frac{1}{6} \pi D^3 \gamma_w \quad (-)$$

Burada;

$\gamma_s$  = Kürenin birim hacim ağırlığı

$\gamma_w$  = Suyun birim hacim ağırlığı

Yukarıdan aşağıya doğru ağırlık kuvveti ile düşmekte olan küreye, hareketinin aksi yönde sürüklenme direnci ve suyun yüzdürme kuvvetleri karşı koyar. Bu nedenle yukarıda gösterildiği gibi birincisinin (+) diğerlerinin ise (-) işaretli olduğunu kabul edebiliriz. Aşağıya doğru hızlanarak düşmekte olan küreye karşı koyan zıt yönlü bu iki kuvvet sayesinde bir süre sonra küre sabit hıza ulaşır, işte bu anda kuvvetler dengede demektir. Bunu aşağıdaki eşitlikle gösterebiliriz;

$$\frac{1}{6} \pi D^3 \gamma_s - \frac{1}{6} \pi D^3 \gamma_w - 3 \pi \eta U D = 0 \quad [1]$$

Bu eşitliği düzenleyerek kürenin hızını, çapının karesinin bir fonksiyonu olarak ifade edersek;

$$U = \frac{1}{18} \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\eta} D^2 \quad \dots\dots\dots [2]$$

eşitliği ortaya çıkar. Bu eşitlikte, sıcaklığı sabit olan belli bir sıvı içerisinde yukarıdan aşağıya doğru düşen kürenin hızının, çapının karesi ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Ancak bu durum sadece Reynolds sayısının 1'den küçük olduğu (Re < 1) laminar akım şartlarında geçerli olduğu bilinmelidir (4).

size distribution could not be determined by sieving. For the hydrometer technique which is the most widely used technique in soil mechanics, 50 g soil sample sieved from No 200 (0.075 mm) sieve is used. A dispersive agent like sodium hexameta phosphote is added to this sample. After the preparation stage, this sample is put into a glass sedimentation cylinder which has a diameter of 6.5 cm, height 45-50 cm and water is added to obtain a total of 1000 cm<sup>3</sup> suspension. In order to obtain a homogenous soil-water suspension, the glass cylinder is shaken, then the cylinder is put onto a smooth horizontal surface. In this stage soil grains will start to settle by the action of gravity immediately, therefore the chronometer is started immediately after putting the cylinder on a horizontal surface. The test involves measurement with a hydrometer on previously determined time intervals (6).

It is clear that particles having larger diameters will settle more quickly than the smaller diameter particles, in other words setting velocities of larger diameter particles is higher than the setting velocities of smaller diameter particles. This fact was investigated by stokes (1891) who expressed the relationship of setting velocity between particle diameter mathematically. This expression is known as "Stokes Law" (7). If we examine this law in detail:

If a sphere having diameter "D" is falling inside a liquid having viscosity " $\mu$ " with a limit velocity of "U", three different forces will act to it (4), these are;

$$\text{Weight of sphere} = \frac{1}{6} \pi D^3 \gamma_s \quad (+)$$

$$\text{Drag Resistance} = 3 \pi \eta U D \quad (-)$$

$$\text{Uplift force of water} = \frac{1}{6} \pi D^3 \gamma_w \quad (-)$$

Where;

$\gamma_s$  = Unit weight of soil sphere

$\gamma_w$  = Unit weight of water

After a certain time period this soil sphere will reach to a limit velocity due to the force balance, this is mathematically expressed as;

If this equation is arranged properly, the equation below can be obtained;

From this equation it is evident that the limit velocity of the sphere is proportional with the square of its diameter. But this is only applicable for laminar flow conditions where the Reynolds number is less than one (4). Because it is practically impossible to measure the velocity of the setting particle, equation 2 can be arranged

Çökme silindirinin içindeki düşen tanelerin hızını ölçmek mümkün olmadığından dolayı, [2] nolu eşitliği düzenlemek istersek; (yol = hız x zaman) bağıntısını uygulamak yeterlidir. (t) zaman süresince kürenin aldığı yola (H) dersek, [2] nolu eşitlik hızı verdiğinden;

$$H = \frac{1}{18} \frac{\gamma_s - \gamma_w}{\eta} D^2 t \quad [3]$$

olur. Ancak laboratuvar ortamında ölçmek istediğimiz parametre, tanelerin aldığı yol veya çökme mesafesi değil, tanelerin çapı olacağından, [3] nolu eşitlikte, (D) yi çekerek tekrar düzenlersek;

$$D = \sqrt{\frac{18}{1} \frac{\eta}{\gamma_s - \gamma_w} \frac{H}{t}} \quad [4]$$

eşitliği elde edilir ki; zemin mekaniğinde Stokes kanununa göre tanelerin çaplarını ölçmekte kullandığımız temel eşitliği elde etmiş oluruz.

Burada:

D	: Ölçülen Tanelerin Çapı (mm)
$\eta$	: Suyun Viskozitesi ( $g.s / cm^2$ )
$\gamma_s$	: Tanelerin Birim Hacim Ağırlığı ( $g / cm^3$ )
$\gamma_w$	: Suyun Birim Hacim Ağırlığı ( $g / cm^3$ )
H	: Tanelerin Çökme Mesafesi (cm)
t	: Çökme İşleminin Başlamasından İtibaren Geçen Zaman (dk)

Suyun viskozitesi ve birim hacim ağırlığı sıcaklıkla birlikte değişmektedir ve çeşitli kaynaklardan tablolar halinde bu değerlere ulaşmak mümkündür. Tane birim hacim ağırlığı ise zeminler için 2,60 ile 2,80 ( $g / cm^3$ ) arasında değişmektedir. O halde bu parametreleri tablo halinde bir araya getirip tek bir terimle ifade edersek ve bunun adına "K" dersek yukarıdaki eşitlik şu basit biçimi alır;

$$D = K \times \sqrt{\frac{H}{t}} \quad [5]$$

Eş.5 göre deneyin başlangıcından itibaren belirli sürelerin (t) sonunda hidrometre yardımı ile H mesafeleri belirlenerek tane çaplarını hesaplamak mümkündür. Başka bir ifadeyle (t) süresinin sonunda H derinliği boyunca D çapından daha büyük tane kalmamıştır. Tersinden ifade edecek olursak H mesafesinde bulunan tanelerin tamamı D çapından daha küçüktür. H mesafesi ise süspansiyonun yüzeyinden itibaren hidrometrenin ağırlık merkezine kadar olan mesafedir. Çünkü hidrometreler ağırlık merkezinin bulunduğu noktadaki ortalama birim hacim ağırlık (BHA) ölçmektedir. Bu durum aşağıdaki Şekil 1'de anlatılmaya çalışılmıştır.

by using; "Distance = Velocity x Time Equation"

Where;

H= Distance

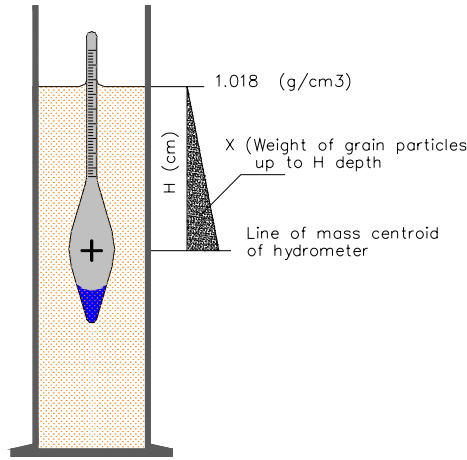
t= Time

Because we want to obtain diameter "D", instead of distance. Equation 3 can be arranged to give D;

This above equation is the basic equation of Stokes Law.

Unit weight and the viscosity of water is a function of its temperature and there exist various tables for the determination of unit weight and viscosity from temperature. Unit weight of soil grain is generally between 2.60-2.80 ( $g / cm^3$ ). If we combine some terms in the equation 4 to obtain one parameter "K" equation 4 becomes;

With Eq. 5, by measuring time and corresponding distance with hydrometer the diameter of grain can easily be determined. In Figure 1. "H" is the distance to the mass centroid of the hydrometer. (All of the particles within "H" are smaller than "D"). Hydrometers measure the average unit weight of the point where the mass centroid of the hydrometer is present. This situation is shown in Figure 1.



**Figure 1.** Measurement technique of hydrometer.

**Şekil 1.** Hidrometrenin ölçüm tekniği

Zemin hidrometreleri 20 °C sıcaklığındaki saf suyun BHA'sını 1.000 g/cm<sup>3</sup> olarak ölçecek şekilde kalibre edilmişlerdir. Ağırlık merkezinin bulunduğu derinlikteki BHA'yı ölçmeye yarayan bu hidrometreler deneyin başlangıcından itibaren çeşitli sürelerin sonunda süspansiyona daldırılarak sap kısmında bulunan bölüntülerden BHA okunur ve buradan suyun BHA'sı cebirsel olarak çıkarılarak o derinliğe kadar olan zemin tanelerinin gram cinsinden ağırlığı bulunur (8).

Örneğin Şekil 1' de "t" anında 1,018 (g/cm<sup>3</sup>) okuması alınmıştır. Suyun BHA'sı pratikte 1.000 (g/cm<sup>3</sup>) olduğundan 1,018 – 1,000 = 0,018 (g/cm<sup>3</sup>) bulunur. Toplam süspansiyon hacmi 1000 (cm<sup>3</sup>) olduğundan; 0,018 (g/cm<sup>3</sup>) x 1000 (cm<sup>3</sup>) = 18 g bulunur. Yani "t" anında H derinliğine kadar olan zeminlerin ortalama ağırlığı yaklaşık 18 g demektir. Bu yaklaşımla hareket edilerek Stokes kanuna göre tane çapları ve ağırlıkça yüzdeleri belirlenir. H derinliği ise hidrometrenin ölçüleri hassas bir cetvel yardımıyla ölçülerek ve kalibrasyon adı verilen hesaplamalar yapılarak belirlenir.

### 3. LAZER DİFRAKSİYON TEKNİĞİ

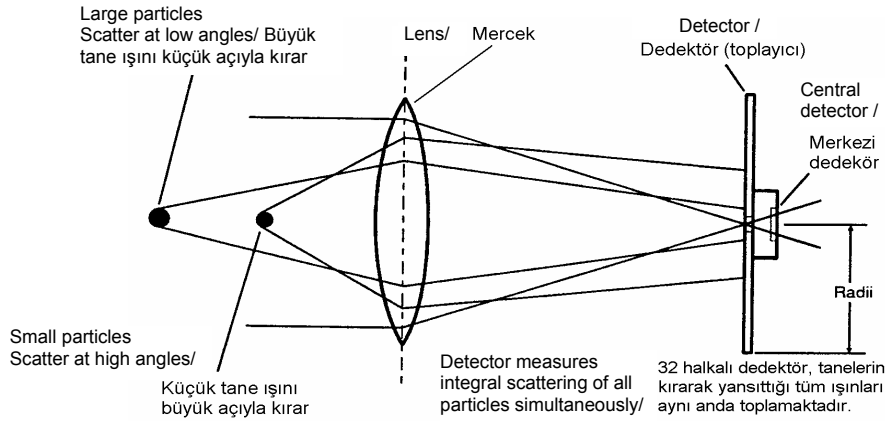
Bu teknik uygulanarak tane boyutunun belirlenmesi, tanelerin lazer ışını kırarak yansıttıkları ve kırılma açısının tane büyüklüğü ile ters orantılı olduğu esasına dayanır (3). Başka bir deyişle, lazer ışınlarını, büyük taneler küçük açıyla, küçük taneler ise büyük açıyla kırılmaktadır (9). Toz ve mineral endüstrisinde, 0,05 – 2000 mikron aralığındaki tanelerin boyutlarının belirlenmesinde gittikçe tercih edilen ve yaygınlaşan bu yöntem, su ve ayrıştırıcı madde ile karışmış halde bulunan zemin tanelerinin uygun bir düzenek vasıtasıyla özel bir hücrenin içerisine pompalanması ve lazer ışınlarının önünden geçirilme prensibine dayanır. Şekil 2'de bu durum şematik olarak gösterilmiştir.

Soil hydrometers are calibrated to give 1.000 g/ cm<sup>3</sup> of the unit weight of pure water at 20 °C temperature. During the test, the hydrometer is put to water and the suspension's read. The unit weight is read. Unit weight of water is extracted from the arrange value and by this way, the unit weight of soil grains is obtained (8).

For example, in Figure 1. at time "t" average unit weight is measured as 1.018 g/ cm<sup>3</sup>. Practically we can take unit weight of water as 1.000 g/ cm<sup>3</sup> so average unit weight of soil grains is 0.018 g/ cm<sup>3</sup>. For 1000 cm<sup>3</sup> of suspension volume, average weight of soil grains is calculated as 18 gr. With this approach and by using Stokes law, diameter of soil grains and their percentage by weight is calculated. H can be determined by using accurate rulers.

### 3. LASER DIFRACTION TECHNIQUE

This technique is based on the fact that, the grain diameter is inversely proportional with the refraction angle of the laser light (3). In other words, large diameter grains refract laser light with small angles and small diameter grains refract laser light with greater angles (9). This technique widely used in dust and mineral industry, is applied by pumping the soil grains which are mixed with water and dispersive agent to a special cell where the laser light is sent. This process is illustrated in Figure 2.



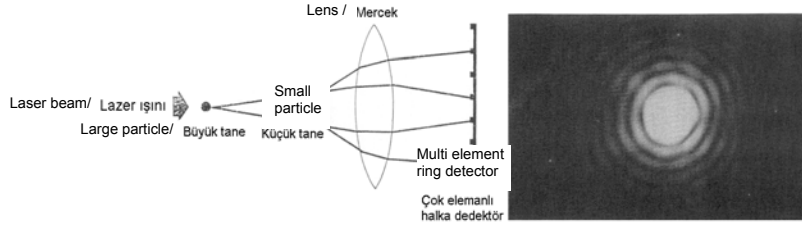
**Figure 2.** Reflection and refraction of laser light by the soil grains.  
**Şekil 2.** Tanelerin lazer ışını kırarak yansıtması.

Tane büyüklüğü belirlenecek numune, içerisinde ayrıştırıcı madde ve su bulunan üniteye boşaltılır. Yapışık ve kümeleşmiş taneleri ayrıştırmak için kullanılan ayrıştırıcı maddeye ilave olarak, cihazın ünitesi üzerinde bulunan mekanik karıştırıcı ve “ultrasound” çalıştırılarak tanelerin tamamen ayrışması sağlanır. (Ultrasound, numune ünitesinde bulunan zemin-su karışımının içine yüksek frekanslı ses dalgaları vererek, taneleri titreştirerek ve ayrışmalarını sağlar) Cihaza bağlı bulunan bilgisayar ekranından “obscuratation” (kararma) miktarı izlenerek %15 ile 30 arasında olacak şekilde numune ilave edilir. Böylece, deneyde kullanılacak numune miktarı (genellikle yarım çay kaşığı kadar) bilgisayar ekranından eş zamanlı (on-line) olarak takip edilmek suretiyle ayarlanır. Üniteye bağlı pompa vasıtasıyla, su+ayrıştırıcı madde ile karışmış halde bulunan taneleri, özel bir hücrenin içine gönderir. Bir girişi ve bir de çıkışı bulunan bu hücrenin içerisinde sürekli pompalanan taneler, devridaim yapmak suretiyle defalarca lazer ışınlarının önünden geçerler. Bu hücre, lazer ışınının önüne ve tam merkezine gelecek şekilde yerleştirilmiş olduğundan zemin taneleri üzerine sürekli lazer ışınları gönderilmiş olur. Bu sırada, numune hücrenin önünde bulunan mercek (Fourier transform lens) ve arkasında bulunan ölçüm bandı (veri toplayıcı dedektör) sayesinde tanelerden kırılarak yansıyan ışınlar toplanarak sürekli değerlendirmeye tabii tutulur. Tanelerden kırılarak yansıyan ışınların ölçüm bandı üzerinde hangi halkanın içine düştüğü eş-zamanlı çalışan bilgisayar tarafından değerlendirilerek ortalama hacimler hesaplanır ve tane boyutları belirlenmiş olur (10).

Numune hücresinin önüne yerleştirilen ve tanelerin kırıldığı lazer ışınlarını toplayan Fourier dönüşüm merceğinden kırılarak gelen bütün ışınları eşzamanlı olarak değerlendirebilen veri toplama dedektörünün üzerinde 32 adet ölçüm bandı bulunmaktadır. Şekil 3’de bununla ilgili şematik bir fotoğraf görülmektedir. Bantların üzerine düşen ışınların yoğunluğundan faydalanılarak, tanelerin toplam kütleyle göre miktarı belirlenir. Tüm bu işlerin yapılabilmesi için cihaza bağlı güçlü bir bilgisayar ve özel olarak hazırlanmış bilgisayar yazılımının kullanılması gerekmektedir (5). Böyle bir sistem şematik olarak Şekil 4’de gösterilmiştir.

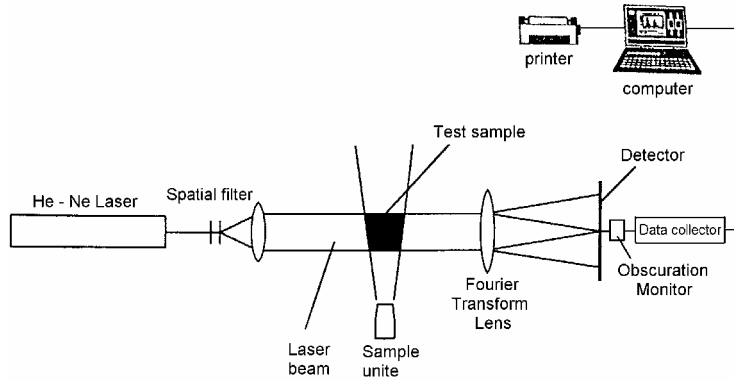
The sample whose grain size distribution is to be determined is put into a special unit where water and a dispersive agent is present. In addition to the dispersive agent, ultrasound which is available on the unit is applied to the soil to obtain perfectly dispersed soil grains. From the computer screen linked to the device, obscuration level is observed and sample is added to obtain 15-30 % obscuration level. The pump which is part of the device is used to send the soil-water-dispersive agent mixture to the special cell, soil sample pass from the cell many times, during this time laser light is applied to the soil sample. During this stage the front lens (fourier transformation lens) and rear measurement detector is used to collect scattered laser lights. From this measurement grain sizes and corresponding volumetric percentages are calculated (10).

The measurement detector has 32 measuring bands. Figure 3 shows the measurement detector schematically. By using the density of scattered laser light on each band, the percentage of each grain size class can be calculated. For this purpose a special computer code which is connected to the device has to be used (5). This system is illustrated in Figure 4.



**Figure 3.** Falling of laser lights refracted from lens to the detector.

**Şekil 3.** Mercekten kırılarak gelen ışınların dedektörün üzerine düştüğü durum



**Figure 4.** Schematic figure showing all of the system.

**Şekil 4.** Sistemin bir bütün halinde çalışmasını gösteren şematik resim.

Lazer difraksiyon tekniğinin en önemli farkı, tanelerin çaplarını ve dağılımını hacim esasına göre belirlemesidir. Dedektörün üzerine düşen ışıklardan yola çıkarak, veri toplayıcı sistem sayesinde tanelerin hacimleri hesaplanmakta ve sonuçlar buna göre sunulmaktadır. Eleme ve sedimentasyon tekniğinde ağırlık esasına göre dağılım belirlendiği hatırlanacak olursa bunun önemli bir fark olduğu görülecektir (12). Bu yöntemde akla gelen en önemli soru, Lazer difraksiyon tekniğine göre tane çapları nasıl hesaplanmaktadır? Bu sorunun tek bir cevabı vardır; Lazer difraksiyon tekniği tane çaplarını hesaplarken “eşdeğer hacim” yada başka bir ifadeyle “eşdeğer küre” teorisini kullanmaktadır (10). Kil minerallerinin şeklinin disk, yaprak, iğne yada daha karmaşık olduğu düşünülürse, lazer difraksiyon yönteminden elde edilen sonuçlarda bir küreymiş gibi tane çapları verilmesinin nedeni anlaşılmış olur. Başka bir ifadeyle, ölçümü yapılan taneler ne kadar karmaşık ve düzensiz şekle sahip olsalar da dedektör ve veri toplayıcı sayesinde tanelerin hacimleri hesaplanmakta ve bu hacme sahip eşdeğer kürenin çapı değerlendirilerek tane çapı şeklinde sonuçlarda sunulmaktadır. Bu tekniğin en önemli avantajları; ölçümde kullanılan tanelerin ağırlığına ve özgül külesine ihtiyaç duyulmamasıdır (3). Zira deneyde kullanılan numunenin ağırlığının belirlenmesi aşamasında yapılacak hatalardan kaçınılmış olmaktadır. Ayrıca kil tanelerinin özgül ağırlığının belirlenmesi son derece hassas bir çalışma gerektirmekte ve oldukça zor olmaktadır (2). Bunun yanı sıra bir zemin numunesinin içinde çeşitli miktarlarda farklı kil minerallerinin olduğu ve bu minerallerin de farklı özgül ağırlıklara sahip olduğu bilinmektedir (8). Laboratuvar ortamında yapılan özgül ağırlık deneyinde sadece tek bir değer elde edilebilmekte

The most important difference of the laser diffraction system is that it determines grain size distribution according to volumetric basis. By using the density of scattered laser light, the volume of grains are calculated and the results are presented. If it is remembered that in sieving and sedimentation techniques weight based calculations are used, it can be realized that the difference between the two techniques is great (12). The Laser diffraction technique utilized equivalent sphere theory for calculation of grain sizes (10). If it is thought that the shape of clay particles is like sheet, needle or more complex, it can be understood why equivalent sphere technique is needed to determine grain sizes. The most important advantage of this technique is that it does not require the specific gravity and weight of grains (3). By this way mistakes during the calculation of weight is avoided. In addition to this, determination of the specific gravity of clay particles require very sensitive work (2). It should also be realized that the sample includes various type of grains having different specific gravities (8). However the specific gravity test can only yield one average value. Because the laser diffraction technique does not require the knowledge of specific gravity, there won't be such problems (9).

ve numunenin içindeki farklı minerallere rağmen bu değer kabul edilmektedir. Lazer difraksiyon tekniği, eşdeğer hacim teorisini kabul ettiğinden dolayı bu tür sorunların hiç birisinin olmayacağı söylenebilir (9).

#### 4. SONUÇ ve DEĞERLENDİRME

Yukarıda kısaca açıklanan Stokes yasası ve sedimentasyon analizi ile zemin tanelerinin çaplarının belirlenmesinde bazı kabuller yapılmaktadır (4). Bunları sıralayacak olursak;

1. Tanelerin şeklini küre olarak kabul eder,
2. Deneye alınan bir zemin numunesindeki bütün tanelerinin özgül ağırlığının aynı olduğunu kabul eder,
3. Doğada kümeleşmiş halde bulunan tanelerin birbirinden tamamen ayrılmış olduğunu kabul eder,
4. Çökme sırasında tanelerin birbirinden etkilenmediği ve birbirlerine temas etmediğini, ayrıca tanelerin çökmesi sırasında süspansiyonda meydana gelen hareketlerin "laminar akım" şartlarında olduğunu kabul eder.

Yukarıda verilen kabullerin pratikte ne kadar doğru olduğu tartışılmaktadır. Bu kabuller kullanılarak yapılan sedimentasyon deneyleriyle, zemin tanelerinin büyüklüklerinin doğru belirlendiğini söylemek, tartışmaya ayrı bir boyut getirmektedir. Yukarıda verilen maddeleri bu gözle değerlendirecek;

1. Kil ve silt boyutundaki zemin taneleri kesinlikle küre şeklinde değildir. Mineral tipine göre değişmekle birlikte, genellikle mısır patlağı (corn flakes) veya disk şekline benzemektedirler. Bu durumda küre şeklinde olmayan tanelerin su içinde çökmeleri oldukça farklıdır.
2. Zeminlerin oluşumları düşünülecek olursa, doğadaki zemin kütelleri genellikle birbirinden farklı kil minerallerini bünyelerinde bulundururlar ve bu minerallerin özgül ağırlıkları da birbirinden farklıdır. Ancak laboratuvar ortamında zeminlerin özgül ağırlıkları deneyle bulunurken mineral yapısına bakılmaksızın tek bir değer elde edilmektedir. Ayrıca çok hassas bir deney olduğu için her ne kadar dikkatli çalışılsa dahi hata yapma riski çok fazladır. Stokes yasasında tanelerin özgül ağırlığının önemli bir faktör olduğu düşünülürse, farklı özgül ağırlığa sahip taneleri için tek bir değer kabul ederek hesap yapılması hatalara neden olacağı görülecektir.
3. Zemin numunesine sedimentasyon deneyi yapmadan önce, saf su içerisinde eritilmiş kimyasal bir madde içerisinde bekletilerek kümeleşmiş halde bulunan küçük boyutlu tanelerin birbirinden ayrışması sağlanır. Ancak buna rağmen bazı taneler birbirinden ayrılmamakta ve sedimentasyon sırasında kümeleşmiş halde birlikte çökmektedirler. Tanelerin çökme hızından yola çıkarak tane çaplarını belirleyen Stokes yasasına göre kümeleşmiş halde çöken bu taneler gerçekte öyle olmamasına rağmen büyük çaplı bir taneymiş gibi hesaplanmaktadır.

Stokes yasasına göre çökelen tanelerin etrafındaki akım deseni, laminar akım olarak kabul edilmektedir. Ancak, taneler birbirleri ile temas halinde çökerlerse birbirlerinden etkilenecekler ve bu durumda da akım şartları laminardan uzaklaşarak karmaşık bir hale gelecektir. Yaklaşık 50 gramlık bir zemin numunesi içinde

#### 4. RESULTS AND DISCUSSIONS

As explained previously there are assumptions present in Stokes Law and the sedimentation technique (4). If we list them;

1. The shape of the grains is assumed as sphere.
2. It assumes all of the grains in the sample have the same specific gravity.
3. It assumes that all the grains that form groups in nature are completely dispersed they may not.
4. It assumes that none of the grains interact with one another and the flow around the particles is laminar.

The validity of these assumptions are open to discussion. As a result;

1. Clay and silt sized particles are not spheres. Although their shape depends on mineralogy, their shape is generally like corn flakes and disks. Therefore their settlement is water different.
2. It is obvious that soils include different types of minerals, therefore their specific gravity is different. However one specific gravity which is determined experimentally is used in Stokes law. Experimental determination of the specific gravity of soils is difficult and prone to errors. By considering these facts, the reliability of using one specific gravity for the soil sample has to be judged.
3. Before sedimentation, soil has to be dispersed by making the soil sample wait in the pure water-dispersive agent suspension. In spite of this process some of the grains can not be deaggregated from each other. This causes a larger grain size calculation than the real.
4. The flow around the settling particles is assumed as laminar. But if particles interact with each other during sedimentation, the flow may become complicated. If we think that there are infinite numbers of particles in the 50 g soil sample, it is easy to understand that the interaction of particles is unavoidable.

As it can be seen from the above explanations, sedimentation is prone to serious errors. However the laser diffraction technique does not need to specific gravity of soil particles, it is not effected from flow conditions and the equivalent sphere theory decreases the importance of the particle shape. It can be concluded that the laser diffraction technique is a better way of grain size distribution characterization.



sayısız miktarda tane olduğu düşünülürse bunların birbirleri ile temas etmelerinin kaçınılmaz olduğu anlaşılacaktır.

Yukarıdaki açıklamalardan görüleceği gibi, sedimentasyon tekniğinde yapılan kabullerle, ince tane boyutunun belirlenmesinde ciddi hatalar yapıldığı sonucunu çıkarmaktadır. Diğer yandan alternatif ve yeni bir yöntem olan ‐Laser Difraksiyon‐ tekniğinde; ölçümde kullanılan tanelerin ağırlığına ve özgül kütlesine ihtiyaç duyulmaması, laminar veya karmaşık akım şartları vb. nin deneyde etkili olmaması, eşdeğer hacim teorisiyle tane şeklinin öneminin azaltılması prensibiyle, bu tür sorunların hiç birisinin olmayacağı söylenebilir.

#### REFERENCES/ KAYNAKLAR

1. Das, B.M., *Principles of Geotechnical Engineering*, **International Thomson Publ.**, Boston (1998).
2. Vickers, B., *Laboratory Work In Soil Mechanics*, **Granada Publishing**, England (1983).
3. Rawle, A., *The Basic Principles of Particle Size Analysis*, **Malvern Instruments Ltd.**, Worcestershire, England (1995).
4. Bardet, J. P., *Experimental Soil Mechanics*, **Prentice Hall**, New Jersey (1997).
5. Allen, T., *Particle Size Measurement, 4th Edition*, **Chapman and Hall**, London (1990).
6. Liu, C., Evett, J. B., *Soil Properties Testing Measurement and Evaluation*, **Prentice Hall**, New Jersey (1997).
7. Rhodes, M., *Introduction to Particle Technology*, **John Wiley and Sons, Inc.**, England (1998).
8. Mitchell, K. J., *Fundamentals of Soil Behavior*, **John Wiley and Sons Inc.**, New York (1976).
9. Rawle, A., *The Importance of Particle Size and Zeta Potential the Mining and Minerals Industry*, **Malvern Instruments Ltd.**, Worcestershire, England (1995).
10. Malvern Sizer Reference Manual, *Understanding Particle Sizing*, Chapter 2, **Malvern Instruments Ltd.**, Worcestershire, England (1993).
11. Grantham, N., *Sedimentation and Laser Diffraction – A Discussion*, **Malvern Instruments Ltd.**, Worcestershire, England (1995).
12. Head, K. H., *Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 1, 2nd Edition*, **John Wiley and Sons Inc.**, London (1992).