

Zeminlerin Tane Büyüklüğü Dağılımının Lazer Kırınım Yöntemiyle Belirlenmesi

Mustafa ÖZER, Mehmet ORHAN
Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü
06500 Beşevler/ANAKRA

ÖZET

1970'li yıllarda geliştirilen lazer kırınım cihazları, günümüzde seramik, kum, kil, çimento, aşındırma, gıda, ilaç ve kozmetik gibi çeşitli mühendislik ve endüstri alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır. 1980'li yıllardan bu yana zeminlerin tane büyüklüğü ölçümünde de kullanılmakta ve gittikçe yaygınlaşmakta olan lazer kırınım yöntemiyle ilgili 1999 senesinde ISO 13320 numarası ile uluslararası bir standart yürürlüğe girmiştir. Ancak, sadece genel ilke ve kuralların yer aldığı bu standartta zemin tanelerinin ölçümüne ilişkin bilgiler yer almamaktadır. Fakat, bu konu ile ilgili uluslararası düzeyde bir çok bilimsel makaleye rastlamak mümkündür. Lazer kırınım yönteminin standart hidrometre ve pipet yöntemlerine göre bir çok üstünlüğü bulunduğu ve sonuçları bu yöntemlere göre daha güvenilir olduğundan bir çok araştırmacının ilgisini çekmektedir. Bu bakımdan, lazer kırınım yönteminin gelecekte zeminlerin tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesinde standart bir yöntem olacağı düşünülmektedir. Lazer kırınım yönteminin tanıtıldığı bu çalışmada, yöntemin teorisi ve genel ilkeleri açıklanmış ve bu yöntemle zeminlerin tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesi üzerinde durulmuştur. Bununla birlikte, lazer kırınım ve standart hidrometre / pipet yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine yapılmış çalışmalardan da bahsedilmiştir.

Anahtar kelimeler : Kil, tane büyüklüğü dağılımı, lazer kırınım yöntemi

Determination of Soil Particle Size Distribution Using Laser Diffraction Method

ABSTRACT

Laser diffraction method developed in 1970s has been commonly used in ceramic, sand, clay, cement, abrasion, food, medicine and cosmetic industries and engineering fields. This method has been used for the particle size determination of soils since 1980s. In 1999 the international standard named ISO 13320 was introduced for the laser diffraction method. However, in the standard only general principles and rules take place, does not include particle size determination of soils. But there are many article in international journals related with this method used for soils. Because laser diffraction method has many advantages over hydrometer/pipette method, and it is more reliable than hydrometer/pipette method, this method attracts many researchers. For this reason it is reasonable to think that this method will become a standard method for the particle size determination of soils. In this literature review, laser diffraction method was introduced, its theory and basic principles were briefly explained and determination of particle size distribution of soils was discussed. Besides, the studies on the comparison of laser diffraction and hydrometer methods are discussed as well.

Keywords: Clay, laser diffraction method, particle size distribution, soil

1. GİRİŞ

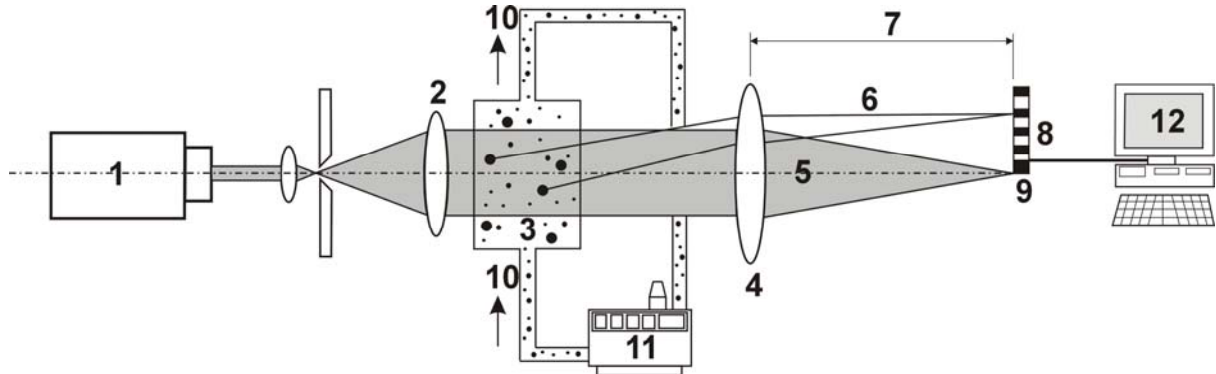
Zeminlerin tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesinde uygulanan standart yöntemler elek analizi ve hidrometre/pipet yöntemleridir. Tane büyüklüğü 0.075 mm'ye kadar olan zeminlerin tane büyüklüğü dağılımı elek analiziyle, 0.075 mm'den küçük olan zeminlerin ise Stokes yasasına dayanan hidrometre veya pipet yöntemleriyle belirlenmektedir. Durgun bir sıvı içerisinde çöken küre şeklindeki bir tanenin çökme hızıyla büyüklüğü arasındaki matematiksel ilişkiyi açıklayan Stokes yasası, bütün tanelerin küre şeklinde olduğunu ve su içerisindeki çökme hareketlerinin laminar akım şartlarına uygun olduğunu, özgül ağırlıklarının aynı olduğunu, çökme esnasında birbirlerinden ve çöktürme silindirin kenarlarından etkilenmediklerini ve çok kısa bir sürede ve mesafede sabit hıza ulaştıklarını kabul et-

mektedir (1,2). Ancak bu kabullerden özellikle küre varsayımının zemin taneleri için uygun olmadığı açıktır. Zemin tanelerinin, özellikle de kil tanelerinin küre şeklinde olmadığı bilinmektedir. Örneğin, kaolinit genellikle levhamsı, halloyizit silindirik, montmorillonit ve illit ise yapraksı şekildedir (3). Bu durumda, Stokes eşitliğiyle hesaplanan tane büyüklüğünün öngörülemez bir hata içermesi kaçınılmazdır. Nitekim, Lerman vd. (4) ve Lu vd. (5) küre varsayımının zeminler için uygun olmadığını deneysel ve teorik çalışmalarla göstermişlerdir. Stokes eşitliğinin zeminler için uygun olmayan bu varsayımlarından ötürü, başka ölçüm yöntemleri arayışına gidilmiş ve bazı yeni yöntemler geliştirilmiştir. Bunlardan bazılarını; elektrodirenç tane sayımı (Coulter Counter), fotometrik teknikler (Hydrophotometer), X-ışınları azalımı (Sedigraph) ve lazer kırınım yöntemi (Microtrac, Malvern Laser Sizer, Coulter LS)

olarak sıralamak mümkündür (6). Bu yöntemlerin içerisinde en yaygın olarak kullanılan ve kabul göreni lazer kırınım yöntemi olmuştur (7). 1970'li yılların sonlarında uygulanmaya başlanan lazer kırınım yöntemi, günümüzde ileri teknolojiye ulaşmış olup seramik, kum, kil, çimento, aşındırma, gıda, ilaç ve kozmetik gibi çeşitli mühendislik ve endüstri alanlarında yaygın olarak kullanılmaktadır (8). 1980'li yıllardan buyana zemin tanelerinin ölçümünde de kullanılmaya başlanan bu yöntemle ilgili ilk ve tek standart, 1999 senesinde yürürlüğe giren ISO 13320 (9)'dir. İki bölümden oluşan bu standardın birinci bölümünde yöntemle ilgili genel ilkeler (Part 1: General principles), ikinci bölümünde ise yöntemin teorisi ve matematik dönüşümlerle ilgili bilgiler (Part 2: Validation of inversion procedures) bulunmaktadır. ISO 13320 (9)'de herhangi bir mühendislik veya endüstri alanıyla ilgili özel bir malzemenin, örneğin zemin tanelerinin ölçümüne ilişkin detaylı bilgiler bulunmamaktadır. Bu nedenle, lazer kırınım yöntemiyle zeminlerin tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesi üzerine bir çok çalışma yapılmıştır. Bu çalışmalardan bazılarını; McCave vd. (10), Loizeau vd.(11), Konert ve Vandenberghe (12), Buurman vd.(13), Muggler vd.(14), Vitton ve Saddler (15), Beuselink vd.(6), Chappel (16), Wen vd.(7), Eshel vd.(17) şeklinde sıralamak mümkündür. Adı geçen araştırmacıların hemen hepsinin ortak bulgusu lazer kırınım sonuçlarının standart hidrometre ve pipet sonuçlarından daha güvenilir olduğu yönündedir. Bu nedenle, gelecekte lazer kırınım yöntemiyle zeminlerin tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesinin standart bir yöntem olacağı düşünülmektedir. Lazer kırınım yönteminin tanıtıldığı bu çalışmada, öncelikle bir lazer kırınım cih-

aretile cihazlar kullandığı lazer ışınlarının dalga boyu (λ), dedektör dizilimi ve sayısı, mercekleme odak uzaklığı gibi teknik donanım ve yazılım açısından birbirinden farklılık gösterse de, bu cihazlar genellikle bir lazer ünitesi, numune hazırlama ünitesi ve bilgisayar olmak üzere üç ana parçadan meydana gelmektedir. Lazer ünitesinde, tek-renkli, yoğun ve paralel ışınlar (genellikle He-Ne lazeri) üreten bir lazer kaynağı, ışın genişletici, ölçüm hücresi, Fourier merceği ve dedektör yer almaktadır. Işın genişletici, lazer kaynağından yaklaşık 1 mm çapında çıkan ışınların çapını 18 mm'ye yükseltmektedir. Böylece, ışınların daha fazla tane ile çarpışması ve elde edilen sonucun numuneyi daha iyi temsil etmesi sağlanmaktadır (18). Ön ve arka yüzünde dairesel kesitli saydam ve temiz cam pencereler bulunan ölçüm hücresi, giriş ve çıkış olmak üzere iki hortum vasıtasıyla numune haznesine bağlı olup, su ile karışmış haldeki numunenin (süspansiyonun) lazer ışınlarının önünden geçmesini sağlamaktadır. Ölçüm hücresinin hemen arkasında yer alan Fourier merceği, tanelere çarpıp belli bir açıyla kırılan ışınların yine belli bir açıyla dedektörün üzerine odaklanmasını sağlamaktadır. Dedektör ise, mercekten belli bir açıyla gelen ışınları toplayıp, cihazın diğer donanımlarına ileterek sayısallaştırılmasını ve bilgisayara aktarılmasını sağlamaktadır. Dedektörün tam merkezinde hiçbir taneyle çarpmadan doğrudan gelen ışınları toplayıp değerlendirmeye yarayan merkezi dedektör yer almaktadır. Bahsedilen bu elemanlar ve bir lazer kırınım cihazının genel kurulumu şematik olarak Şekil 1'de gösterilmiştir.

Zemin-su karışımının analiz için hazırlanmasında kullanılan numune ünitesinin üretici firmalara göre



Şekil 1. Lazer kırınım cihazının genel kurulumu, 1) Lazer kaynağı, 2) Işın genişletici, 3) Ölçüm hücresi, 4) Fourier merceği, 5) Herhangi bir taneyle çarpmayan ışın demeti, 6) Aynı büyüklükteki tanelere çarpıp kırılan ışınlar, 7) Merceğin odak uzaklığı, 8) Çok elemanlı dedektör, 9) Merkezi dedektör, 10) Süspansiyonun akış yönü, 11) Numune ünitesi, 12) Bilgisayar (ISO 13320'den yararlanılarak hazırlanmıştır).

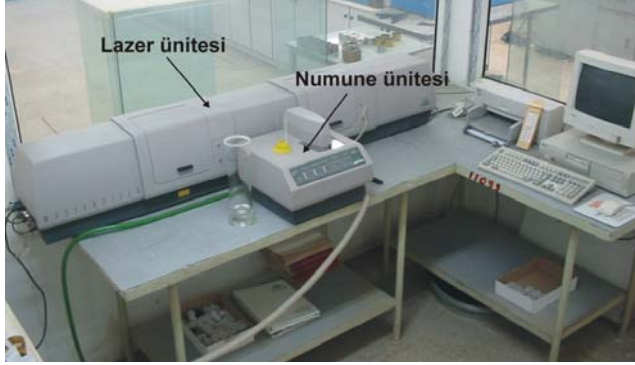
zını meydana getiren temel parçalar ve yöntemin genel ilke ve kuralları üzerinde durulmuş, daha sonra zemin tanelerinin ölçümüne ilişkin bilgiler aktarılmış ve lazer kırınım – hidrometre/pipet yöntemlerinin karşılaştırılması üzerine yapılmış başlıca çalışmalar özetlenmiştir.

2. BİR LAZER KIRINIM CİHAZINI MEYDAN GETİREN TEMEL PARÇALAR

Günümüzde bir çok firma tarafından lazer kırınım cihazı üretilmektedir. Çeşitli firmalar tarafından

değişiklik göstermekle birlikte genellikle 1 litre hacminde haznesi ve bu haznenin içerisinde hızı ayarlanabilen mekanik karıştırıcı, pompa ve ultrasonik enerji uygulama mekanizması bulunmaktadır. Pompa, haznenin içerisinde bulunan süspansiyonu ölçüm hücresinin içerisine pompalayarak sürekli sirkülasyon yapmasını sağlamaktadır. Karıştırıcı, iri tanelerin dibe çökmesini engelleyerek süspansiyonun analiz süresince homojen kalmasını sağlamaktadır. Ultrasonik enerji ise, süspansiyonun içerisinde yüksek frekanslı ses

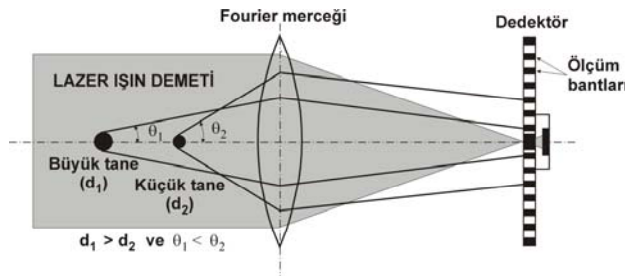
titreşimleri oluşturarak hem mekanik olarak zemin topraklarının dağılmasını, hem de taneleri titreştirerek ölçüm sırasında rastgele konumlanmalarını sağlamaktadır (18). Şekil 2’de Malvern Master SizerX (long bed) lazer kırınım cihazı görülmektedir. Bu cihaz, $\lambda = 0.633 \mu\text{m}$ dalga boyuna sahip kırmızı renkli He-Ne lazer ışınları üretmekte ve 4 farklı mercekle 0.1 – 2000 μm aralığındaki taneleri ölçebilmektedir.



Şekil 2. Malvern Master SizerX-(long bed) lazer kırınım cihazı.

3. LAZER KIRINIM YÖNTEMİNİN GENEL İLKELERİ

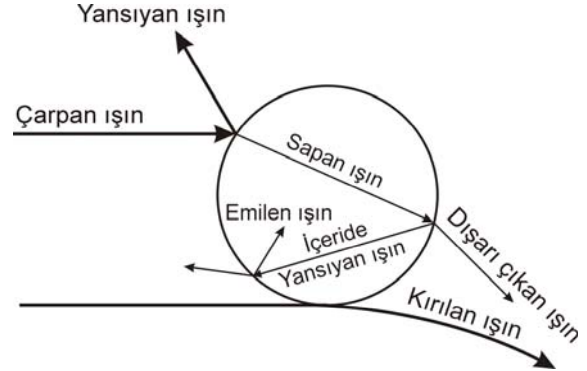
Lazer kırınım yönteminde, su içerisinde hareket halinde bulunan taneler lazer ışınlarının önünden geçerken, tanelere çarparak belli açılarla kırılan ışınlar öncelikle Fourier merceğinin üzerine düşmektedir. Fourier merceğinin üzerine gelen ışınlar ise geldikleri açıya göre yine belli açılarla kırılarak dedektörün üzerine odaklanmaktadır. Dedektörün üzerine düşen ışınlar bilgisayara bağlı analog-dijital dönüştürücü vasıtasıyla sayısallaştırılarak, ışınların kırılma açısından tane büyüklüğü, yoğunluğundan ise hacimce tane yüzdeleri hesaplanmaktadır (19). Bu hesaplamalar, tane büyüklüğüyle ışınların kırılma açısı arasındaki ters orantı ilişkisine dayanmaktadır (20). Lazer ışınlarını, büyük taneler nispeten küçük açıyla, küçük taneler ise daha büyük bir açıyla kırılmaktadır (21). Bu durum şematik olarak Şekil 3’de gösterilmiştir.



Şekil 3. Tanelerin büyüklüğüyle ışınların kırılma açıları arasındaki ters orantı ilişkisi (18).

Lazer kırınım yönteminde, taneyle aynı kırılma desenini veren eşdeğer kürenin çapı tane çapı olarak hesaplanmaktadır (12). Küre şeklindeki bir taneye ışın çarptığı zaman, bu ışınların bir kısmı tanenin yüzeyine çarparak belli bir açıyla kırılır ve ileri yönde yoluna devam eder, bir kısmı geri yönde yansır, bir kısmı ise

tanenin içerisine girer. Tanenin içerisine girerken belli bir sapma açısıyla kırılan ışınların bir kısmı yine belli bir sapma açısı ile kırılarak tanenin dışına çıkar, bir kısmı ise tanenin içinde geri yönde yansıldıktan sonra dışarı çıkar ve/veya tane tarafından emilir (19) Işınların izlediği bu yol Şekil 4’de şematik olarak gösterilmiştir. Tane büyüklüğü hesaplamalarında, tanelerin yüzeyine temas ederek kırılan ışınlar dikkate alınmaktadır (22).



Şekil 4. Küre şeklindeki bir taneye çarpan ışınların izlediği yol (19).

4. OPTİK KURAM

Lazer kırınım yönteminde tane büyüklüğü dağılımı Fraunhofer ve Mie olmak üzere iki farklı optik kurama göre hesaplanabilmektedir. İlk optik modelin temelini oluşturan Fraunhofer kuramı, bütün tanelerin ışınların dalga boyundan çok daha büyük olduğunu ($d \gg \lambda$) ve ışık geçirmeyen iki boyutlu dairesel halka şeklinde olduğunu kabul etmektedir. Mie kuramı ise, bütün tanelerin şeffaf ve küre şeklinde olduğunu ve taneler ile içinde buldukları ortamın (zeminler için genellikle su) saptırma indisleri arasındaki farkın küçük olduğunu kabul etmektedir (21).

Fraunhofer ve Mie kuramlarıyla ilgili çeşitli kaynaklarda çeşitli görüşler yer almaktadır. Bir kullanıcının, hangi kuramı tercih edeceğine karar vermesi bakımından önemli bulunan bu görüşleri aktarma gereği duyulmuştur. ISO 13320-1’de Fraunhofer kuramının, çapı ışınların dalga boyunun en az 40 katı kadar olan ($d > 40 \lambda$) veya ışık geçirmeyen (mat) taneler için geçerli olduğu belirtilmiş ve Fraunhofer kuramının yeterli olmadığı bir çok durumda Mie kuramının daha kesin sonuçlar vereceği belirtilmiştir (9). Planz (23), analiz edilen tanelerin büyüklüğü, lazer ışınının dalga boyuna yakın veya daha küçük olduğunda kırınım deseninin karmaşık bir hale geldiğini ve bu durumda tane büyüklüğü dağılımının tahmin edilmesi için Mie kuramının daha uygun olduğunu öne sürmüştür. Bayvel ve Jones (24) $d=10 \lambda$ ’nın altında Fraunhofer kuramının gittikçe artan bir şekilde hata yaptığını belirtmiştir. Rawle (20), Fraunhofer kuramının 5λ ’dan daha küçük taneler için uygun olmadığını, Hoff ve Bott (25) ise $10 \mu\text{m}$ ’nin altında Mie kuramının daha kesin sonuçlar verdiğini ifade etmişlerdir.

Birçok bilimsel çalışmada yaygın olarak kullanılan Coulter LS ve Malvern cihazlarının ürettiği lazer ışınlarının dalga boyu sırasıyla $\lambda = 0.750 \mu\text{m}$ ve $\lambda = 0.633 \mu\text{m}$ 'dir. Buna göre Fraunhofer kuramının uygulanabileceği en küçük tane büyüklüğü değerlendirildiğinde, kil yüzdesinin belirlenmesinde Mie kuramının daha uygun olduğu görülmektedir. Nitekim, Buurman, vd. (13), Bayvel ve Jones (24) ve De Boer vd.(26), Fraunhofer kuramıyla kil yüzdesinin doğru belirlenmesinin mümkün olmadığını öne sürmüşlerdir.

5. ZEMİNLERİN TANE BÜYÜKLÜĞÜ DAĞILIMININ BELİRLENMESİ

Lazer kırınım yöntemiyle zeminlerin tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesini düzenleyen ulusal veya uluslararası bir standart henüz mevcut değildir. Bu nedenle, ISO 13320-1 (9)'de yer alan genel ilkeler, üretici firmaların katalogları, konuyla ilgili yapılmış önceki çalışmalar ve kendi çalışmalarımızdan edindiğimiz tecrübeler esas alınarak, lazer kırınım yöntemiyle zeminlerin tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesi genel hatlarıyla aşağıda sunulmuştur.

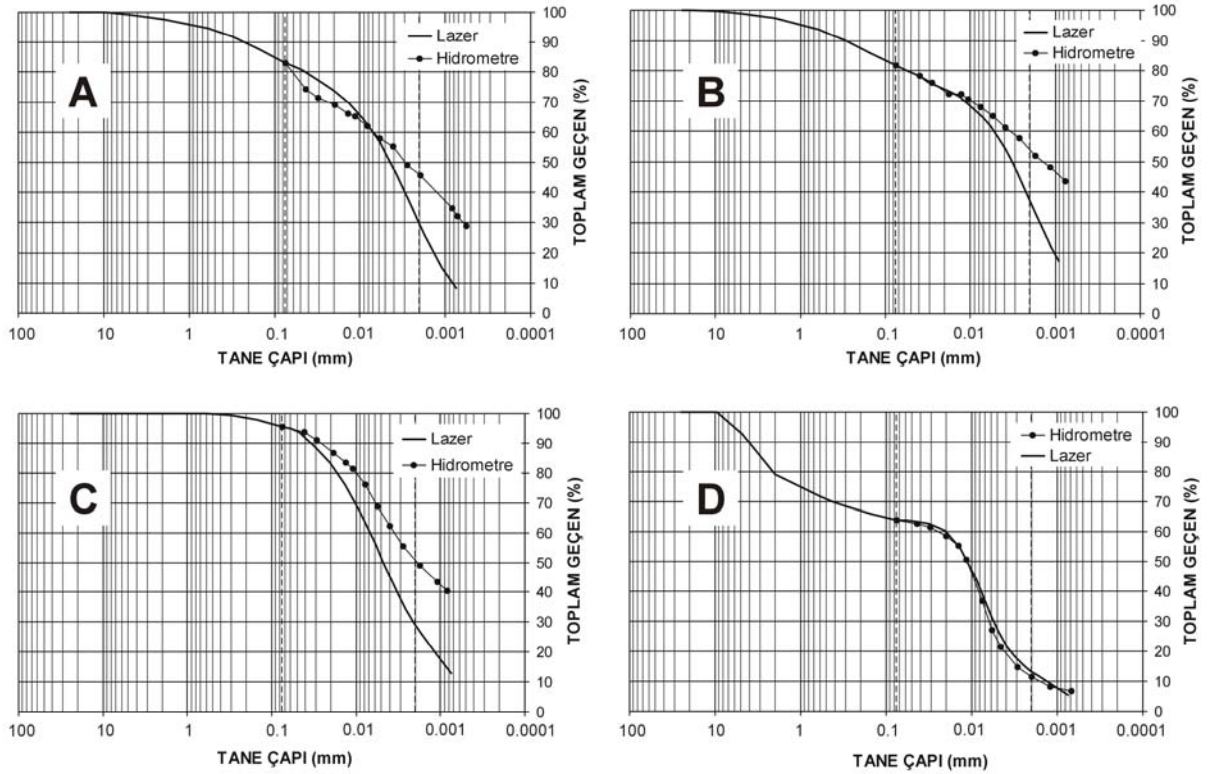
0.075 mm'den büyük olan zeminlerin tane büyüklüğü dağılımı elek analiziyle belirlenebildiğinden, lazer kırınım analizi yapılacak numunenin 0.075 mm (No.200) elekten elenmesi uygun olmaktadır. Buna göre, tane büyüklüğü dağılımı belirlenecek numune öncelikle $110 \pm 5 \text{ }^\circ\text{C}$ etüvde kurutulur. Daha sonra, bireysel taneleri kırmayacak şekilde lastik tokmakla nazikçe ezilerek ufalanır ve 200 no.lu elekten elenir. Eleğin altına geçen malzeme, lazer kırınım analizi yapılmak üzere silindirik bir kabın içerisinde toplanır (27). Lazer kırınım cihazı çalıştırılır ve lazer ışınlarının durağan hale gelmesi için yaklaşık yarım saat beklenir (9). Bilgisayar vasıtasıyla gerekli optik ayarlamalar yapıldıktan sonra numune ünitesinin haznesi suyla doldurulur. Hava kabarcıklarının oluşmaması için haznenin içerisine su yavaşça doldurulmalıdır (16). Bu esnada haznenin içerisine ASTM D422 (28)'ye göre hazırlanmış Calgon (sodyum hegzametfosfat) çözeltisinden 100 ml boşaltılır (27). Daha sonra pompa, mekanik karıştırıcı ve ultrasonik enerji çalıştırılarak geri plan ölçümü alınır. Geri plan ölçümüyle, numuneden kaynaklanmayıp, gün ışığı, optik yüzeylerin parıldaması vb. gibi etkenlerden kaynaklanan ışın kırınım deseninin numune ölçümünün sonuçlarından çıkartılması sağlanmaktadır (18). Bunun için, sisteme numune dahil edilmeden hemen önce geri plan ölçümünün alınması son derece önemlidir. Daha sonra haznenin içerisine yeteri kadar numune ilave edilir. Lazer kırınım analizi için gereken numune miktarı bilgisayar ekranından gözlenebilen ışın azalma yüzdesine göre belirlenmekte olup, numunenin kil-silt içeriğine bağlı olarak genellikle 0.1 – 0.5 g arasında değişmektedir. Numune hazneye ilave edildikten sonra, ultrasonik enerji ve Calgon çözeltisinin etkisiyle zemin topraklarının dağılması için 5 – 10 dakika kadar beklenir ve analiz bitirilerek yazıcıdan sonuçların çıktısı alınır (29). Zemin

topraklarının dağılması için gerekli olan ultrasonik enerji uygulama süresi kritik olup, belli bir sınırı aştığında zemin örneklerinde yeniden topraklanma meydana gelme riski bulunmaktadır. Bu nedenle analiz süresi, zemin topraklarının tam olarak dağılmasına izin verecek kadar uzun, ancak yeniden topraklanma meydana getirmeyecek kadar da kısa tutulmalıdır (29). Bu kiritik geçiş süresi, bilgisayar ekranındaki ön-izleme penceresinden rahatlıkla belirlenebilmektedir (29).

Lazer kırınım analizi için yeterli olan 0.1 – 0.5 g arasındaki örneğin, bütünü temsil edip etmediği sorgulanabilir niteliktedir. Özer ve Orhan (27) tarafından bu konu araştırılmış ve 55 mm çapında, 40 mm derinliğindeki silindirik bir kabın içerisinde toplanan numune, uygun bir spatula yardımıyla iyice karıştırılarak homojen hale getirildikten sonra, spatulanın ucuyla alınan örneğin, silindirik kabın içerisinde kalan numunenin tamamını temsil ettiğini göstermişlerdir.

6. LAZER KIRINIM VE HİDROMETRE/PIPET YÖNTEMLERİNİN KARŞILAŞTIRILMASI ÜZERİNE YAPILMIŞ BAŞLICA ÇALIŞMALAR

Lazer kırınım yöntemiyle ilgili en çok merak edilen konu, sonuçlarının hidrometre ve pipet gibi standart deney sonuçları ile uyumlu olup olmadığıdır. Bu konu üzerine bir çok araştırma yapılmış olup, başlıcalarını, McCave vd.(10), Loizeau vd.(11), Konert ve Vandenberghe (12), Muggler vd.(14), Vitton ve Saddler (15), Beuselinck vd.(6), Wen vd.(7), Eshel vd.(17) ve Özer (29) şeklinde sıralamak mümkündür. Bu çalışmalar incelendiğinde, lazer kırınım sonuçlarının hidrometre/pipet sonuçlarıyla aynı olmadığı ve hidrometre/pipet yöntemlerinin ince tane yüzdesini, özellikle kil yüzdesini daha yüksek belirlediği görülmektedir. Özer (29), Türkiye'nin farklı bölgelerinden alınmış 72 adet doğal zemin örneği üzerinde lazer kırınım (Malvern Master SizerX) ve hidrometre yöntemleriyle belirlenen tane büyüklüğü dağılım eğrilerini karşılaştırmış ve her iki yöntemle belirlenen tane büyüklüğü dağılım eğrilerinin istikrarlı bir ilişki içerisinde olmadığını göstermiştir. Özer (29)'in elde ettiği tipik sonuçlara ait birer örnek Şekil 5'de sunulmuştur. Bu örneklerin indeks özellikleri ise Çizelge 1'de verilmiştir.



Şekil 5. Lazer kırınım ve hidrometre yöntemleriyle belirlenmiş tane büyüklüğü dağılım eğrilerinin karşılaştırılması: A. tane büyüklüğü dağılım eğrileri birbirleriyle kesişmiştir, B. her iki yöntem belli bir tane çapına kadar aynı sonucu vermiştir, C. lazer kırınım yöntemi bütün tane çaplarını daha küçük belirlemiştir, D. her iki yöntem hemen hemen aynı sonucu vermiştir (29).

Çizelge 1. Şekil 5’de görülen örneklerin indeks özellikleri.

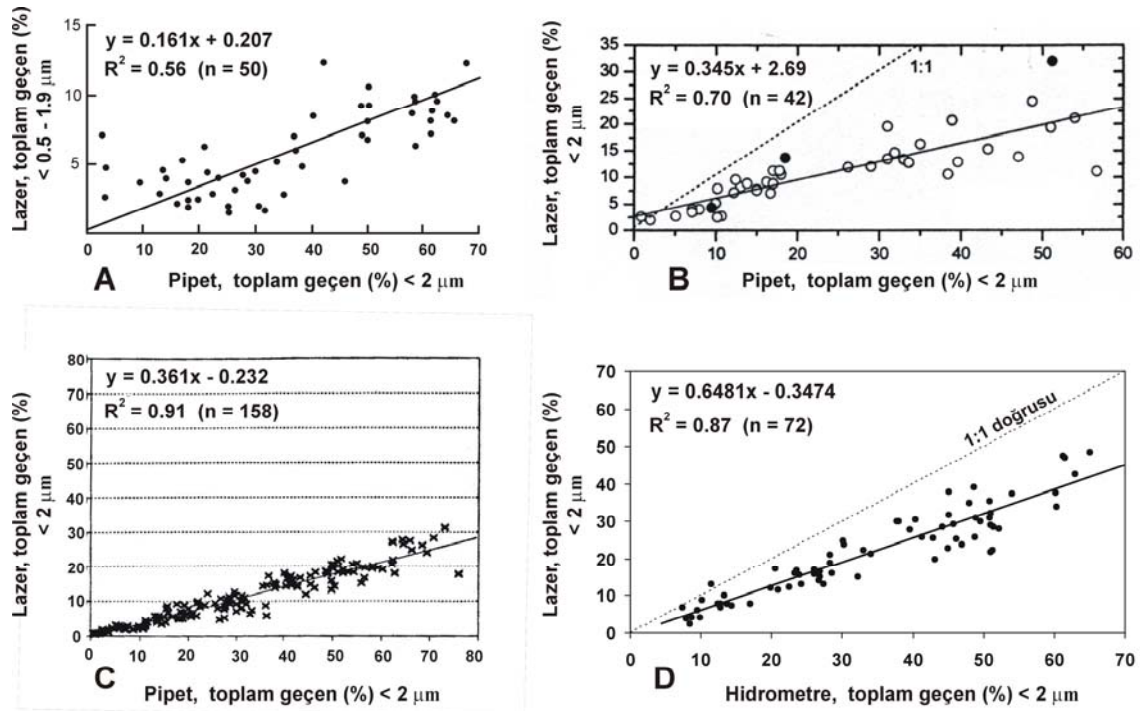
Örnek adı	Alındığı yer*	w_L (%)	w_p (%)	No.4 % P	No.40 % P	No.200 % P	Zemin sınıfı ^f	Kil yüzdesi	
								Hidr.	Lazer
A	Ostim	76.4	31.8	99.1	93.4	83.1	CH	45.7	29.3
B	Çukurambar	89.1	38.3	98.6	91.7	81.7	CH	54.0	37.5
C	Temelli	87.9	30.2	100	99.7	95.6	CH	51.0	29.0
D	Beytepe	29.0	15.0	92.7	70.1	63.9	CL	11.4	13.0

* Ankara'nın semt ve ilçeleri, ^f Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre

Not: w_L : likit limit, w_p : plastik limit, No.4, No.40 ve No.200 % P sırasıyla 4, 40 ve 200 No.lu eleklerden geçen yüzdelere.

Özer (29), tane büyüklüğü dağılım eğrileri arasındaki bu çeşitliliği tane şekline bağlamış ve bazı örnekler üzerinde yaptığı SEM çekimlerine dayanarak sonuçlar arasındaki farklılığın en önemli nedeninin tane şekli olduğunu ortaya koymuştur.

Literatürdeki çalışmalar incelendiğinde, lazer kırınım ve hidrometre/pipet yöntemleriyle belirlenen tane büyüklüğü dağılım eğrilerinin tamamının karşılaştırılmasında çok, bu yöntemlerle belirlenen kil (<0.002 mm) yüzdelere karşılaştırıldığı görülmektedir. Şekil 6’da kil yüzdelere karşılaştırılması üzerine yapılmış başlıca çalışmaların sonuçları görülmektedir.



Şekil 6. Lazer kırınım ve hidrometre/pipet yöntemleriyle belirlenen kil yüzdesinin karşılaştırılması: A. McCave vd. (10) B. Eshel vd. (17), C. Konert ve Vandenberghe (12), D. Özer (29) tarafından yapılmış karşılaştırmaların sonuçları

McCave vd. (10) Malvern marka 3600 E model lazer kırınım cihazı ile pipet yönteminin, Eshel vd. (17) Coulter marka LS-230 model cihaz ile pipet yönteminin, Konert ve Vandenberghe (12) Frtisch marka A22 model cihaz ile pipet yönteminin, Özer (29) ise Malvern marka Master SizerX model cihaz ile hidrometre yönteminin kil yüzdesini karşılaştırmıştır. Şekil 6'da sunulan dört ayrı karşılaştırmadan da görüleceği gibi, hidrometre yöntemi, kil yüzdesini, lazer kırınım yöntemine göre daha yüksek belirlemektedir. Adı geçen araştırmacıların da belirttiği gibi bunun en önemli nedeni tane şeklidir. Yapraksı veya levhamsı şekle sahip taneler su içerisinde küre şeklindeki tanelere göre daha yavaş çöktüklerinden Stokes eşitliğiyle tane çapları gerçeğinden daha küçük hesaplanmaktadır (4). Bu nedenle, hidrometre ve pipet yöntemlerinin kil yüzdesini olduğundan daha fazla hesaplaması olağandır. Bu sonuçlara göre, lazer kırınım yöntemiyle elde edilen kil yüzdesinin daha güvenilir olduğunu öne sürmek mümkündür.

Şekil 6'da görülen regresyon katsayılarının ve eşitliklerinin birbirinden farklılık göstermesi ise, kullanılan lazer kırınım cihazların, lazer kırınım analizlerinde uygulanan yöntemlerin ve numunelerin jeolojik kökenlerinin farklı olmasından kaynaklandığı düşünülmektedir.

7. SONUÇLAR VE DEĞERLENDİRME

Lazer kırınım yöntemiyle zeminlerin tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesi ve hidrometre/pipet yöntemleriyle karşılaştırılması üzerine yapılan araştırmaların ortak bulgusu, lazer kırınım yöntemiyle belirlenen kil yüzdesinin daha güvenilir olduğu ve hidro-

metre/pipet yöntemleriyle kil yüzdesinin olduğundan daha yüksek hesaplandığıdır. Bunun en önemli nedeni olarak tane şekli gösterilmektedir. Genellikle levhamsı veya yapraksı şekilde olan kil taneleri su içerisinde yavaş çöktüklerinden, küre şeklindeki taneler için geçerli olan Stokes eşitliğiyle daha küçük taneler gibi hesaplanmaktadır.

Lazer kırınım yönteminin hidrometre/pipet yöntemlerine göre bir çok üstünlüğü bulunmaktadır. Bunlar; 10 – 15 dakika gibi çok kısa bir sürede sonuç vermesi, 0.1 – 0.5 g gibi çok az bir örnek gerektirmesi, tanelerin özgül ağırlığından etkilenmemesi, hidrometre/pipet yöntemlerine göre tane şeklinden daha az etkilenmesi ve bilgisayar ile kontrol edilen elektronik bir cihaz olduğundan sonuçların bilgisayar ortamında depolanabilmesidir. Bu üstünlüklerine karşın bazı zayıf yönleri de bulunmaktadır. Bunlar, cihazın son derece pahalı olması ve henüz standart bir yöntem olmayışıdır. Bu nedenlerden dolayı lazer kırınım yöntemiyle belirlenmiş kil yüzdesi uluslararası düzeyde veri tabanı oluşturacak kadar çok değildir. Buna karşın, zemin mekaniğinin temellerinin atıldığı yıllardan bu yana hidrometre/pipet yöntemiyle belirlenmiş kil yüzdesini içeren çok sayıda veri depolanmış ve diğer zemin parametreleriyle bir çok korelasyonu yapılmıştır. Geçmişte depolanmış bu verilerin kullanılabilmesi için lazer kırınım ve hidrometre/pipet yöntemiyle belirlenmiş kil yüzdesi arasında karşılıklı geçiş yapılmasını sağlayacak evrensel korelasyonlara ihtiyaç vardır. Bu amaçla, bazı araştırmacılar çeşitli regresyon eşitlikleri geliştirerek bu yöndeki çabalarını sürdürmektedir. Ancak, lazer kırınım analizlerinde, optik kuram, optik parametreler, numune hazırlama ve analiz yöntemi olmak üzere analiz sonuçları etkileyen bir çok

değişken bulunmaktadır. Lazer kırınım yöntemi henüz standart bir yöntem olmadığından, her araştırmacı lazer kırınım analizlerinde farklı yöntemler uygulamaktadır. Ortaya konulan eşitliklerin evrensel bir nitelik kazanabilmesi ve lazer kırınım yönteminin zemin mekaniği alanında yaygınlaşabilmesi için, bu yöntemle zeminlerin tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesinde uyulması gereken kuralların bir standarda bağlanması gerektiği düşünülmektedir.

8. TEŞEKKÜR

Bu çalışmaya, 07-2004/22 proje kod numarasıyla maddi destek sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğü'ne ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

9. KAYNAKLAR

- Head, K. H., Manual of Soil Laboratory Testing, Volume 1, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc., Great Britain, s. 201-203, 1992.
- Bardet, J. P., Experimental Soil Mechanics, Prentice-Hall, Inc., New Jersey, USA, s.31-39, 1997.
- Mitchell, J. K., Fundamentals of Soil Behavior, John Wiley & Sons., Inc. U.S.A., s.35 – 45, 1976.
- Lerman, A., Lal, D. and Dacey, M.F., Stokes settling and chemical reactivity of suspended particles in natural waters, In: Suspended Solids in Water, Ed.by R.J. Gibbs, Plenum Press, New York, s.17 – 47, 1974.
- Lu, N., Ristow, G. H., Likos, W. J., The accuracy of hydrometer analysis for fine-grained clay particles”, Geotechnical Testing Journal, 23 (4): 487 – 495, 2000.
- Beuselinck, L., Govers, G., Poesen, J., Degraer, G., Froyen, L., Grain-size analysis by laser diffractometry: comparison with the sieve-pipette method”, Catena, 32: 193 – 208, 1998.
- Wen, B., Aydın, A., Aydın-Duzgoren, N.S., A comparative study of particle size analysis by sieve-hydrometer and laser diffraction methods, Geotechnical Testing Journal, 25 (4): 434 – 442, 2002.
- Ma, Z., Merkus, H. G., de Smet, J.G.A.E., Heffels C., Scarlett, B., New developments in particle characterization by laser diffraction: size and shape, Powder Technology, 111: 66 – 78, 2000.
- ISO 13320, Particle size analysis – laser diffraction methods, Part 1: general principles, Annex A; Theoretical background of laser diffraction, Geneva, Switzerland, 1999.
- McCave, I.N., Bryant, R.J., Cook, H.F. & Coughanowr, C.A., Evaluation of laser diffraction size analyser for use with natural sediments, Journal of Sedimentary Petrology, 56: s.561 – 564, 1986.
- Loizeau, J.-L., Arbouille, D., Santiago, S. and Vernet, J.-P., Evaluation of a wide range laser diffraction grain size analyser for use with sediments, Sedimentology, 41: 353 – 361, 1994.
- Konert, M. and Vandenberghe, J., Comparison of laser grain size analysis with pipette and sieve analysis: a solution for the underestimation of the clay fraction, Sedimentology, 44: 523–535, 1997.
- Buurman, P., Pape, T. and Muggler, C. C., Laser grain-size determination in soil genetic studies. 1. Practical problems. Soil Science, 162 (3): 211-218, 1997.
- Muggler, C. C., Pape, Th. and Buurman, P., Laser grain-size determination in soil genetic studies. 2. Aggregation and clay formation in some Brazilian Oxisols, Soil Science, 162 (3): 219-228, 1997.
- Vitton, S. J and Sadler, L. Y., Particle size analysis of soils using laser light scattering and X-Ray absorption technology, Geotechnical Testing Journal, 20 (1): 63 – 73, 1997.
- Chappell, A., Dispersing sandy soil for the measurement of particle size distributions using optical laser diffraction, Catena, 31: 271 – 281, 1998.
- Eshel, G., Lavy, G.J., Mingelgrin, U., Singer, M.J., Critical evaluation of the use of laser diffraction for particle-size distribution analysis, Soil Science Society of American Journal, 68: 736 – 743, 2004.
- Malvern, Master Sizer X Instrument Manuel, Malvern Instruments Ltd., Spring Lane South, Worcs, WR14 1AT., 1993.
- Allen, T., Particle Size Measurement, Vol.1, fifth edition, Chapman&Hall, London, UK. s.405, 411, 1997.
- Rawle, A., The basic principles of particle size analysis, www.malvern.co.uk.
- Hesseman, R., Particle size analysis in ceramics manufacture, International Ceramics, 1: 31 – 34, 2002.
- Jillavenkatesa, A., Dapkunas, S. J., Lum, L. S. H., Particle size characterization, National Institute of Standart and Technology (NIST), Department of Commerce, Special Publication 960-1, U.S.A, 2001.
- Planz, P. E., Particle-size Measurement from 1.0 to 1000 µm based on light scattering and diffraction, In: Modern Methods of Particle-size Analysis, H.G. Barth, Ed., Wiley, New York, s.173 – 209, 1984
- Bayvel, L.P. and Jones, A.R., Electromagnetic Scattering and Its Applications, Applied Science, London. s.289, 1981.
- Hoff, E.V. & Bott, S.B., Optical theory and refractive index: why it is important to particle size analysis, Coulter Technical Bulletin, LS Series # 1010. Coulter Scientific Instruments, Hialeah, Florida.
- De Boer, G.B.J., De Weerd, C., Thoenes, D. And Goossens, H.W.J., Laser diffraction spectrometry: Fraunhofer diffraction versus Mie scattering, Part. Charact., 4: 14–19, 1987.
- Özer, M., ve Orhan, M., Lazer kırınım yöntemiyle zeminlerin tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesi: genel ilkeler ve örnek hazırlama yöntemi, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, (2007 Haziran sayısında basılacak).
- ASTM D 422 (American Society for Testing and Materials), Standard test method for particle-size analysis of soil, Annual Book of ASTM Standards, 1998.
- Özer, M., Lazer kırınım yöntemi ile zeminlerin tane büyüklüğü dağılımının belirlenmesi ve hidrometre yöntemi ile karşılaştırılması, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, 2006