

Zemin Mekaniği Deneylerinde Uygulanan Numune Bölme (Azaltma) Yöntemlerinin Karşılaştırılması

Mustafa ÖZER

Gazi Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Müh. Bölümü, Teknikokullar/Ankara

ÖZET

Bu çalışmada, zemin mekaniği laboratuvarlar deneylerinde uygulanan numune bölme (azaltma) yöntemlerinden çeyrekleme, bölgeç ve dönen numune bölme yöntemlerinin zemin numunelerini ne ölçüde temsil edici bir şekilde bölebildiği araştırılmıştır. Bu amaçla killi, siltli, kumlu ve çakıllı olmak üzere dört farklı zemin tipi kullanılmıştır. Çeyrekleme yöntemi iri çakıllı bir numune üzerinde gerçekleştirilmiştir. Bölgeç ve dönen numune bölme yöntemleri ise aynı yerden alınmış killi, siltli ve kumlu özdeş numuneler üzerinde ve farklı yerlerden alınmış çakıllı numuneler üzerinde gerçekleştirilmiştir. Çeyrekleme yöntemi laboratuvar zemininde, bölgeç yöntemi 30 mm oluk açıklığına sahip masa tipi bir bölgeç kullanılarak, dönen numune bölme yöntemi ise 500 ml hacmine sahip sekiz adet kavanozu bulunan bir cihaz kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Yöntemlerin birbirleriyle karşılaştırılabilmesi için bölme sonucunda elde edilen parçalara elek analizi deneyi uygulanmış ve belirli eleklerden geçen yüzdelerin standart sapmaları hesaplanmıştır. Elde edilen sonuçlara göre, en hassas ve temsil edici numune bölme yönteminin dönen numune bölme yöntemi olduğu, bunu bölgeç yönteminin takip ettiği, en kaba numune bölme yönteminin ise çeyrekleme yöntemi olduğu belirlenmiştir.

Anahtar Kelimeler : Çeyrekleme yöntemi, bölgeç yöntemi, dönen numune bölme yöntemi

Comparison of Sample Dividing (Reducing) Methods Used in Soil Mechanics Tests

ABSTRACT

In this study, it was investigated that to what degree representative samples can be obtained from the quartering, riffling and rotating divider methods of the sample dividing (reducing) methods used in soil mechanics laboratory tests. For this purpose, four different soil type including clayey, silty, sandy and gravelly soils were used. Quartering method was carried out on a gravelly soil. Riffling and rotating divider methods were conducted on identical clayey, silty and sandy samples taken from same places and different gravelly samples taken from different places. Quartering method was conducted on laboratory ground. Riffling method was carried out by using a riffle box with 30 mm slot widths. Rotating divider methods was applied by using a rotating device with eight in 500 ml jar. For comparing the methods with each other, sieve analysis was carried out to the subsamples obtained by dividing and standard deviation of the percentage of passing from some sieves was calculated. According to results obtained, it was determined that the most representative subsamples can be obtained from rotating divider method, it is followed by riffling method, and most rough method is quartering methods in obtaining representative subsamples.

Key words: Quartering method, riffling method, rotating divider method

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Zemin mekaniği çalışmalarında; boşluk oranı, su içeriği ve tane dizilimi gibi belirleyici özelliklerinde önemli bir değişiklik meydana getirilmeden alınan numunelere “örselenmemiş numune”, zemin yapısı, su içeriği ve/veya diğer ayırt edici özellikleri bozularak alınan numunelere ise “örselenmiş numune” adı verilmektedir [1]. Geoteknik incelemelerde örselenmemiş numune almak için uygulanan en yaygın yöntem sondajla numune alınmasıdır. Sondaj tüpleriyle alınan numunenin su içeriğini kaybetmemesi için numune tüplerinin her iki ağzının da parafinle kapatılması gerekmektedir. Örselenmiş numuneler ise kazma-kürek gibi daha basit araç gereçlerle alınabilmekte ve alınan numuneler poşet, çuval vb. araçlarla laboratuvara getirilebilmektedir.

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: ozerm@gazi.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2014.17.4, 167-176

Zemin mekaniği laboratuvar deneyleri genellikle belli miktardaki numuneler üzerinde gerçekleştirilmekte ve bu deneyler için ne kadar numune gerektiği çeşitli kaynaklarda belirtilmektedir [2-5]. Ancak uygulamada, araziden alınıp poşet, çuval vb. içinde laboratuvara getirilen örselenmiş numune miktarı genellikle laboratuvarında yapılacak deneyler için gerekenden fazladır. Bu durumda, laboratuvara getirilen fazla miktardaki numunelerin uygun yöntemlerle bölünerek azaltılması gerekmektedir. Bu durumda, azaltılmış numune üzerinde yapılan deney sonuçlarının numunenin bütününe temsil edebilmesi için, numunenin bölünmesi (azaltılması) için uygulanan yönteminin numuneyi eşit ve temsil edici bir şekilde bölmesi gerekmektedir. Bunun için çeşitli standartlarda çeyrekleme (dörtleme olarak da bilinir), bölgeçten geçirme (yarılama olarak da bilinir), dönen numune bölme (Tyler numune bölücüsü, küçük koni (miniature stockpile) gibi yöntemler önerilmektedir [5-7].

Bu yöntemlerin içerisinde zemin mekaniği laboratuvar çalışmalarında yaygın olarak kullanılan yöntemler, çeyrekleme ve bölgeçten geçirme yöntemleridir. Bu yöntemlerin yanı sıra dönen numune bölme yöntemi de kullanılmaktadır.

Çeyrekleme yönteminde, bölünecek numune sert, düzgün ve temiz bir yüzey üzerine boşaltılmakta, uygun büyüklükte bir kürek kullanılarak, küreğe alınan numuneler her seferinde koninin tepesine dökülmek suretiyle bir koni oluşturacak şekilde yan tarafa aktarılmaktadır. Aktarma işlemi en az üç kere tekrarlanmak suretiyle numunenin iyice karışması ve homojen hale getirilmesi sağlanmaktadır. Daha sonra numunenin homojenliğinin bozulmamasına ve tanelerin eşit bir şekilde yayılmasına özen gösterilerek koninin tepesine kürekle veya uygun bir levhayla bastırılmak suretiyle oluşturulan koni eşit kalınlıkta bir disk haline getirilmektedir. Bu şekilde oluşturulan diskin çapı kalınlığının dört ila sekiz katı kadar olmalıdır. Oluşturulan disk kürekle veya cetvelle dört eşit parçaya bölünmekte ve çapraz iki parçası toplanarak alınmaktadır. Geriye kalan iki parça birleştirilmekte ve gerekiyorsa aynı işlemler uygulanmak suretiyle tekrar çeyrekleme işlemine tabi tutulmaktadır [6]. Bu yöntemle istenilen numune miktarı elde edilinceye kadar çeyrekleme işlemi sürdürülebilmektedir. Ancak, malzemenin en fazla 1 kg'a kadar azaltılması, 1 kg'da daha küçük parçalara bölünmemesi tavsiye edilmektedir [7]. Ayrıca, her bir bölme aşamasında elde edilen çapraz iki parçanın toplam ağırlığının, numunenin bölünmeden önceki toplam ağırlığının yarısından $\pm \%10$ 'dan daha fazla sapma göstermemesi istenmektedir. Aksi durumda bölünen parçaların birleştirilmesi ve tekrar bölme işlemine tabi tutulması önerilmektedir [7]. Çeyrekleme yöntemiyle sağlıklı bir bölme işleminin gerçekleştirilebilmesi için bölünecek numunenin tane yüzeylerinde serbest su bulunması yani hafif nemli olması tavsiye edilmektedir [6,7].

Bölgeçten geçirme yönteminde numune, toplama kabının içine homojen bir şekilde serilmekte (yayılmakta), diğer iki toplama kabı olukların altına yerleştirilmekte ve numune dolu kap olukların üzerinde bulunan besleme hunisi ya da kılavuz çerçeve üzerindeki yerine yerleştirildikten sonra içindeki numune sabit bir hızla olukların üzerine boşaltılmaktadır [6]. Böylece numune iki parçaya bölünmektedir. Bu parçalardan her birisinin ağırlığı, numunenin bölünmeden önceki toplam ağırlığının yarısından $\pm \%10$ 'dan fazla sapma göstermemesi, aksi durumda bölünen parçaların birleştirilmesi ve tekrar bölme işlemine tabi tutulması gerekmektedir [7]. İstenilen numune ağırlığı elde edilinceye bölme işlemi sürdürülebilmektedir. Bölgeçten geçirme yöntemiyle bölünecek numunenin oluklardan serbestçe akabilmesi için doymuş kuru yüzey durumunda ya da yeteri kadar kuru olması önerilmektedir [6,7]. Bunu sağlamak için bölme işleminden önce numunenin, bölme işleminden sonra uygulanacak deneylerin izin verdiği sıcaklıkta kurutulması gerekmektedir. Kullanılan bölgeç eşit genişlikte oluklara sahip olmalıdır. Olukların sayısı çift sayı olmalı ve iri taneli agregalar için sekizden, ince ta-

neli agregalar için onikiden az olmamalıdır [6]. Bölgecin oluk genişliği bölünecek numunedeki en büyük tane boyutunun ASTM C 702M (2011) [6]'ye göre yaklaşık 1,5 katından, ISO 23909 (2008) [7]'a göre 3 katından daha büyük olmalıdır.

Dönen numune bölme yönteminde ise, numune besleme ünitesi ve numune bölme ünitesi olmak üzere iki üniteden meydana gelen bir cihaz kullanılmaktadır. Bu cihazda, numune besleme ünitesinin hunisine boşaltılan numune, elektrik motoru tarafından üretilen titreşim sayesinde bir kanal boyunca sabit hızda ilerleyerek numune bölme ünitesindeki sabit hızla dönen kavanozların (bazı cihazlarda kapların) içerisine dökülmektedir. Bu yöntemde de bölünen her bir parçanın ağırlığı, numunenin bölünmeden önceki toplam ağırlığının parça sayısına bölünmesiyle elde edilen değerden $\pm \%10$ 'dan fazla sapma göstermemesi, aksi durumda bölünen parçaların birleştirilmesi ve tekrar bölme işlemine tabi tutulması gerekmektedir [7].

Bu çalışmada, çeyrekleme, bölgeçten geçirme ve dönen numune bölme yöntemleriyle bölünen numunelerin bütünü temsil edebilirliği araştırılmış ve bu yöntemlerin numune bölme yeterlilikleri birbiriyle karşılaştırılmıştır. Bu amaçla iri çakıllı, çakıllı, kumlu, siltli ve killi zeminleri temsil edecek şekilde 5 farklı tipte zemin numunesi kullanılmıştır. Yöntemlerin numune bölme yeterliliklerinin değerlendirilmesi amacıyla bölünerek elde edilen her bir numune parçasına elek analizi deneyi yapılmış ve tane büyüklüğü dağılımları karşılaştırılmıştır. Tane büyüklüğü dağılımlarının karşılaştırılmasında No. 200 (0,075 mm), No.40 (0,425 mm), No.10 (2,00 mm), No.4 (4,75 mm), 3/8" (9,50 mm), 3/4" (19,00 mm) eleklerden geçen yüzdelere kullanılmış ve karşılaştırma ölçütü olarak bu eleklerden geçen yüzdelerin standart sapmaları dikkate alınmıştır.

2. MALZEMELER VE YÖNTEMLER (MATERIALS AND METHODS)

Deneyisel çalışmada kullanılan araçlar, gereçler, cihazlar, deney numuneleri ve uygulanan yöntemler aşağıda verilmiştir.

2.1. Araç, Gereç ve Cihazlar (Apparatus)

2.2.1. Bölgeç (Riffle Box)

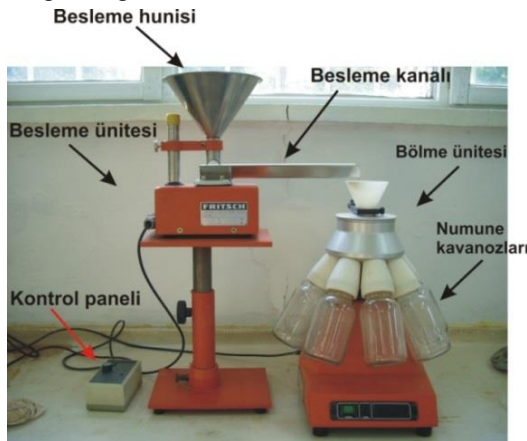
Bu çalışmada kullanılan bölgecin oluk genişliği 30 mm olup toplam 10 tane oluğu bulunmaktadır. Bölgecin altına yerleştirilebilecek ölçülerde toplam 3 tane numune toplama kabı bulunmaktadır (Şekil 1). Bu kaplardan iki tanesi numune bölme işlemi sırasında bölgecin altına yerleştirilmekte, diğeri ise bölünecek numuneyi bölgecin üzerine boşaltmak amacıyla kullanılmaktadır. Numunenin boşaltılmasını kolaylaştırmak amacıyla bölgecin kenarlarında dışarıya ve yukarıya doğru genişleyen bir kılavuz çerçeve bulunmaktadır. Olukların toplam genişliği 32,5 cm, kılavuz çerçevenin üst kısmının genişliği ise 37 cm'dir. Numune toplama kaplarının içten içe genişliği 11 cm, uzunluğu 32,5 cm, derinliği ise 15 cm olmak üzere hacmi 5362 cm³'tür. Bu bölgeç kullanılarak tane çapı 19,5 mm'ye (3/8 inç elek) kadar olan malzemeler bölünebilmektedir.



Şekil 1. Bu çalışmada kullanılan bölgeç.

2.2.2. Dönen Numune Bölme Cihazı (Rotary Sample Divider)

Bu çalışmada kullanılan dönen numune bölme cihazı iki üniteden meydana gelmektedir (Şekil 2). Numune besleme ünitesi olarak adlandırılan birinci ünite, numune besleme hunisi, numune besleme kanalı, titreşim uygulayan bir elektrik motoru ve bir kontrol paneli bulunmaktadır. Kontrol paneli kullanılarak titreşimin şiddeti ayarlanabilmekte, böylece numune besleme hızı değiştirilebilmektedir. Numune bölme ünitesi olarak adlandırılan ikinci ünite ise, elektrik motoru çalıştırıldığı zaman sabit hızla dönen 8 adet kavanoz, bu kavanozların üzerinde numuneyi eşit ve dengeli bir şekilde dağıtmaya yarayan ve sivri ucu yukarıya bakan konik şekilli bir parça ve bu parçanın üzerinde bir huni bulunmaktadır. Besleme hunisinin boğaz çapı 26,5 mm, bölme hunisinin boğaz çapı ise 21,5 mm'dir. Numune kavanozlarının hacmi 500 cm³'tür. Boğaz çapının %50'si dikkate alınacak olursa, bölünecek malzemenin en büyük tane çapının yaklaşık 9,5 mm (3/8 inç elek) olması gerektiği sonucuna varılabilir.



Şekil 2. Dönen numune bölme cihazı

2.2.3. Diğer Yardımcı Araç-Gereçler (Other Subsidiary Apparatus)

Çeyreklemeye yönteminde numune bölünmesinde kullanılmak üzere uygun boyutlarda bir levha, şaşula,

kürek, mala, süpürge ve fırça kullanılmıştır. Arazide veya temiz olmayan ortamlarda kullanılmak amacıyla ASTM C 702M (2011) [6]'de 2 m'ye 2,5 m ölçülerinde bir branda bezi kullanılması önerilse de, bu çalışmada numune bölme işlemi süpürülüp temizlenmiş laboratuvar zeminini üzerinde gerçekleştirildiği için branda bezine gerek duyulmamıştır.

2.2. Deney Numuneleri (Test Samples)

Çalışmada kullanılan numunelerin en büyük tane büyüklükleri, kıvam limitleri, USCS (Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemi) sınıfları ve hangi yöntemle bölme işlemine tabi tutuldukları Çizelge 1'de verilmiştir. Çeyreklemeye yönteminin uygulandığı malzeme 50 mm boyutunda taneler içeren iri çakıllı bir malzemedir. Bölgeç ve dönen numune bölme yönteminin uygulandığı killi, siltli ve kumlu zeminler aynı yerden alınmış özdeş numunelerdir. Ancak killi ve siltli numuneler dönen numune bölme yöntemine tabi tutulmadan önce 9,50 mm elekten elenmişlerdir. Kumlu numunenin en büyük tane boyutu ise hem bölgeç hem de dönen numune bölme yöntemine uygun olduğundan herhangi bir ön eleme işlemine tabi tutulmamıştır. Çeyreklemeye yönteminin uygulandığı numune oldukça iri çakıllı olduğu için bu numuneye bölgeç ve dönen numune bölme yöntemleri uygulanamamıştır. Bölgeç ve dönen numune bölme yöntemlerinin uygulandığı çakıllı numuneler ise farklı yerlerden alınmış numunelerdir. Bölgeç yöntemiyle bölünecek olan çakıllı numune 19,0 mm elekten, dönen numune bölme yöntemiyle bölünecek numune ise 9,50 mm elekten elenmiştir.

2.3. Yöntemler (Methods)

Bu çalışmada uygulanan numune bölme yöntemlerinin yanı sıra indeks özelliklerinin belirlenmesinde uygulanan yöntemler ve ilgili parametreleri hesaplanma yöntemleri aşağıda verilmiştir.

2.3.1. Çeyreklemeye Yöntemi (Quartering Method)

Çeyreklemeye işleminin uygulandığı numune iri çakıllı bir malzeme olup toplam kuru ağırlığı 57660 g, su içeriği %15 olarak tespit edilmiştir. Bu numune, süpürülüp temizlenmiş laboratuvar zeminine boşaltılmış, üç kere aktarılmak suretiyle iyice karıştırılarak homojen hale getirilmiştir (Şekil 3a) ve uygun boyutlarda bir levha ile tepesinden bastırılarak eşit kalınlıkta bir disk haline getirilmiştir (Şekil 3b). Oluşturulan diskin çapı yaklaşık 10 cm, kalınlığı ise 70 cm olarak ölçülmüştür. Daha sonra aynı levha kullanılarak disk dört eşit parçaya bölünmüştür (Şekil 3c) ve yerde kalan ince taneler de toplanmak suretiyle çapraz iki parçası alınmıştır (Şekil 3d). Toplanan malzemeler tartılmış ve ağırlığı 27840 g olarak tespit edilmiştir. Elde edilen bu numunenin ağırlığının, numunenin bölünmeden önceki toplam ağırlığın yarısından sapma değeri -% 3,4 olarak hesaplanmıştır.

Diğer parçanın sapma değeri ise +% 3,4 olarak hesaplanmıştır. Bu değerler \pm % 10 sınır değerinin altında kaldığı için yerde kalan çapraz iki parça birleştirilerek tekrar koni haline getirilmiş ve aynı

Çizelge 1. Çalışmada kullanılan numunelerin indeks özellikleri ve USCS sınıfları

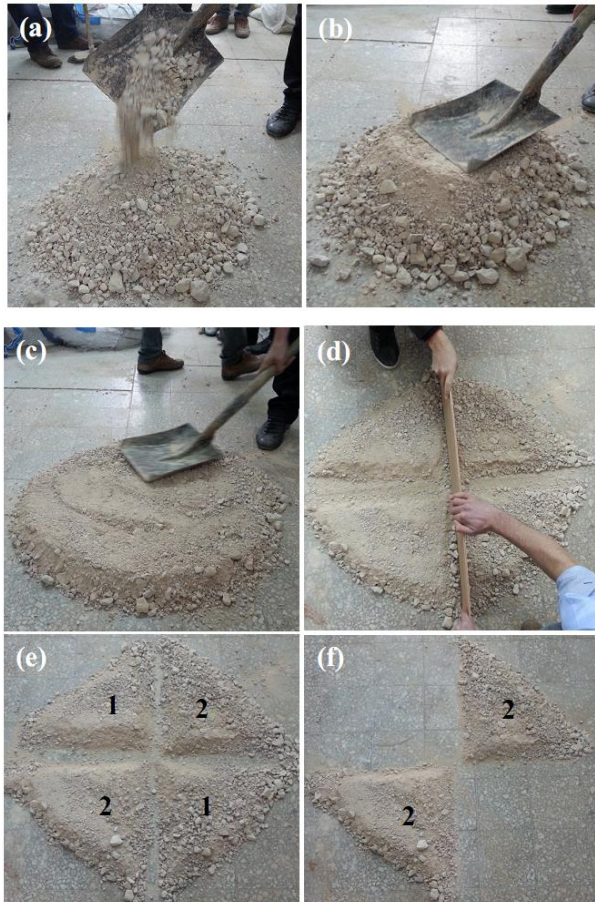
Numune Adı	Numune tanımı	Uygulanan bölme yöntemi	numune D _{max} (mm)	Likit limit (%)	Plastik limit (%)	Plastisite indisi, PI (%)	USCS ¹⁾ sınıfı
Ç-1	İri çakıllı	Çeyrekleme	50,0	NP	NP	NP	GP-GM
B-1	Killi	Bölgeç	19,0	80	35	45	CH
B-2	Siltli	Bölgeç	19,0	47	29	18	SM
B-3	Kumlu	Bölgeç	9,50	NP	NP	NP	SW
B-4	Çakıllı	Bölgeç	19,0	NP	NP	NP	GW
DNB-1	Killi	DNB ²⁾	9,50	80	35	45	CH
DNB -2	Siltli	DNB ²⁾	9,50	47	29	18	SM
DNB -3	Kumlu	DNB ²⁾	9,50	NP	NP	NP	SW
DNB -4	Çakıllı	DNB ²⁾	9,50	NP	NP	NP	SP-SM

¹⁾USCS: Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemi (Unified Soil Classification System)

²⁾DNB: Dönen Numune Bölme

işlemler uygulanarak çeyrekleme işlemine devam edilmiştir.

İkinci bölme işleminden sonra ortaya çıkan parçaların her birisi ayrı ayrı toplanmıştır. İlk çeyreklemede bir araya getirilen çapraz iki parçaya da ikinci kez çeyrekleme işlemi uygulanmış ve yine her bir çeyrek parça ayrı ayrı toplanmıştır. Böylece başlangıçta alınan numune, toplam sekiz parçaya bölünmüştür. Her bir parçanın ağırlığının ortalamadan sapma değeri \pm % 10 sınırının altında kalmıştır. Elde edilen parçaların her birisine ayrı ayrı elek analizi uygulanmıştır.



Şekil 3. Çeyrekleme işleminin uygulanması; a) Numunenin koni haline getirilmesi, b-c) Koninin tepesine kürekle bastırılarak yassı bir disk haline getirilmesi, d) Numunenin levha ile bölünmesi, e) Dörde bölünmüş numune, f) Çapraz iki parçası alınmış numune.

2.3.2. Bölgeç Yöntemi (Riffling Method)

Bölgeç yöntemi uygulanacak numuneler öncelikle 60 ± 5 °C sıcaklığındaki etüvde kurutulmuş, lastik tokmakla topaklar ezilerek ufanmış ve bir tepsi içerisinde iyice karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Daha sonra numune, bölgecin boşta duran toplama kabının içine bir kenarından diğer kenarına homojen olacak şekilde serilmiş ve olukların üzerine sabit bir besleme hızı oluşturacak şekilde dökülerek boşaltılmıştır (Şekil 4).



Şekil 4. Numunenin bölgeçten geçirilmesi

Numune toplama kaplarından birisinin içindeki numune boş bir tepsiye boşaltılmış, boşalan kaplar bölgecin altına yerleştirilmiş ve numuneyle dolu diğer toplama kabı olukların üzerine boşaltılarak ikinci kez bölme işlemine tabi tutulmuştur. İkinci bölme işleminden sonra kaplarda toplanan numuneler ayrı tepsilere boşaltılmıştır. İlk bölme işleminden sonra kenara ayrılan diğer numune parçası da ikinci kez bölme işlemine tabi tutulmuş ve bu işlemin sonucunda elde edilen numune parçaları da ayrı tepsilere boşaltılmıştır. Böylece ilk aşamada alınan numune iki kez bölme işlemine tabi tutularak toplam dört parçaya bölünmüş ve her bir parçaya ayrı ayrı elek analizi uygulanmıştır. Her bir aşamada elde edilen parçaların ağırlıklarının ortalamadan sapma değerleri kontrol edilmiş ve \pm % 10 sınırının altında kaldığı tespit edilmiştir.

2.3.3. Dönen Numune Bölme Yöntemi (Rotary Sample Divider Method)

Numunenin hunilerden ve numune kanallarından serbestçe akabilmesi için bu yöntemle bölünecek numuneler de 60 ± 5 °C sıcaklığındaki etüvde kurutulmuş, lastik tokmakla topaklar ezilerek ufalanmış ve tepsi içerisinde iyice karıştırılarak homojen hale getirilmiştir. Daha sonra tepsi içerisinden şaşula ile alınan numuneler besleme hunisine boşaltılmış, numune bölme ünitesinin motoru çalıştırılmış, kavanozların sabit hıza ulaşmaları beklenmiş, kontrol panelinden titreşimin derecesi ayarlanmış ve motor çalıştırılarak numunenin kanaldan ilerlemesi sağlanmıştır. Besleme hunisindeki numune azaldıkça şaşula ile tepsideki numune alınmış ve besleme hunisine eklenmiştir (Şekil 5). Bu yöntemle bölünerek elde edilen parçaların ağırlıklarının da ortalamadan sapma değerleri kontrol edilmiş ve $\pm\%$ 10 sınırının altında kaldığı tespit edilmiştir.



Şekil 5. Dönen numune bölme cihazıyla numune bölünmesi

2.3.4. Diğer Deneyler (Other Tests)

Numunelerin Atterberg limitleri ASTM D 4318 (2010) [8]'e, tane büyüklüğü dağılım analizleri ise ASTM D 422 (2007) [9]'ye göre yapılmıştır. Bütün elek analizi deneylerinde yıkamalı yöntem uygulanmıştır.

2.3.5. Standart Sapma Değerlerinin Hesaplanması (Calculation of Standard Deviation)

Tane büyüklüğü dağılım grafiklerinin aralarındaki açıklığı sayısal olarak ifade edebilmek ve diğer yöntemlerle karşılaştırabilmek amacıyla aşağıda verilen bağıntı (Eşitlik 1) kullanılarak eleklerden geçen tane yüzdelерinin standart sapmaları hesaplanmıştır.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (1)$$

Bu bağıntıda;

σ : Standart sapma,

N : Bölme sonucunda elde edilen parça sayısı,

x_i : Bir numunenin bölünmesi sonucunda elde edilen herhangi bir numune parçasına ait belli bir elekten geçen yüzde değeri (örneğin No.200 %P gibi)

\bar{x} : Bir numunenin bölünmesi sonucunda elde edilen numune parçalarının belli bir elekten geçen yüzde değerlerinin aritmetik ortalaması.

2.3.6. Ağırlıktan Sapma Değerlerinin Hesaplanması (Calculation of the Deviation From the Mean Weight)

Bölme sonucunda elde edilen her bir parçanın ağırlığının hesaplanan ağırlıktan sapma değerleri Eşitlik 2 ile hesaplanmıştır.

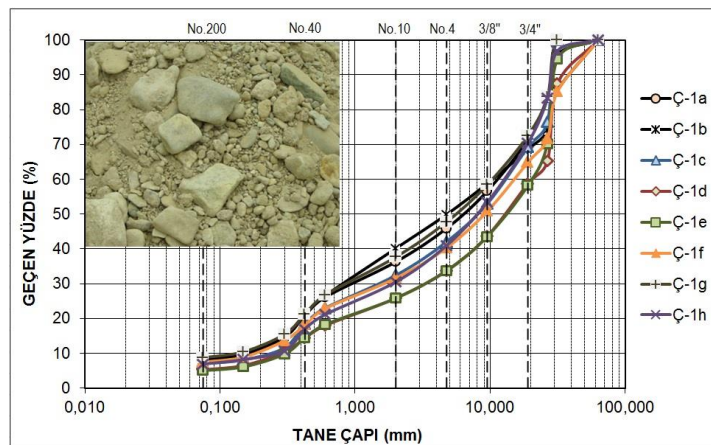
$$\Delta = \frac{M_i - M_h}{M_h} \cdot 100 \quad (2)$$

Bu bağıntıda;

Δ : Hesaplanan ağırlıktan sapma (% olarak),

M_i : Numunenin bölünmesi sonucunda elde edilen herhangi bir parçanın ağırlığı,

M_h : Numunenin bölünmeden önceki toplam ağırlığının parça sayısına bölünmesiyle hesaplanan ağırlıktır.



Şekil 6. Çeyrekleme yöntemiyle bölünen numunelerin tane büyüklüğü dağılımları

Çizelge 2. Çeyrekleme yöntemiyle bölünen numunelerin eleklerden geçen yüzdeleri ve hesaplanan ağırlıktan sapma değerleri

Parça No	Ağırlık (g)	Sapma değeri, Δ (%)	Eleklerden toplam geçen yüzde, %					
			No.200	No.40	No.10	No.4	3/8"	3/4"
Ç-1a	7260	4,3	7,7	20,9	36,3	45,9	56,6	71,4
Ç-1b	7080	1,7	8,2	21,4	40,1	49,9	58,8	68,6
Ç-1c	6580	-5,5	7,0	18,5	32,4	42,1	53,0	69,3
Ç-1d	6920	-0,6	5,3	14,4	25,8	33,8	43,7	58,8
Ç-1e	8230	10	5,0	14,5	25,8	33,7	43,6	58,2
Ç-1f	7830	5,0	7,5	18,2	31,6	40,3	50,8	64,9
Ç-1g	6730	-9,7	8,7	21,2	37,7	47,8	58,4	72,6
Ç-1h	7030	-5,7	6,9	17,0	30,5	41,0	53,4	70,4

3. DENEYSEL BULGULAR (EXPERIMENTAL FINDINGS)

3.1. Çeyrekleme yöntemi (Quartering method)

Çeyrekleme yönteminin uygulandığı iri çakıllı malzemenin bölünmesi sonucunda elde edilen 8 parçanın tane büyüklüğü dağılım grafikleri Şekil 6'da, bazı eleklerden geçen yüzde değerleri ve bölme sonucunda elde edilen ağırlıkların hesaplanan ağırlıktan sapma değerleri ise Çizelge 2'de sunulmuştur.

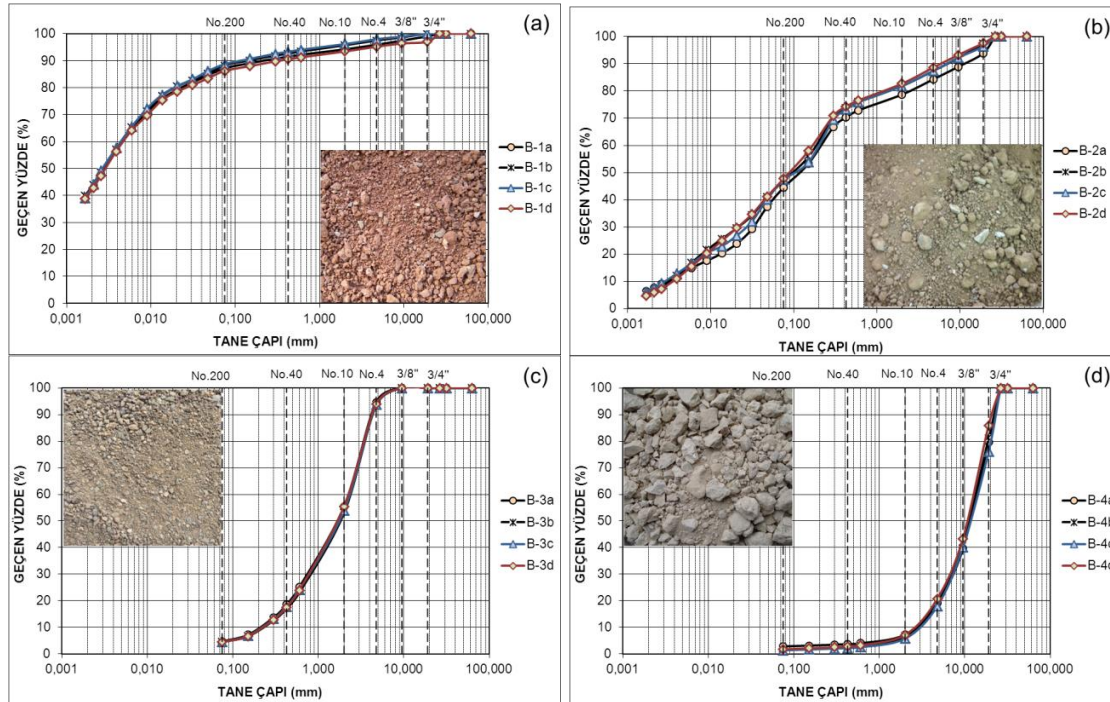
Şekil 6'dan görüleceği gibi iri çakıllı bir numunenin arka arkaya iki kere bölünmesi sonucunda elde edilen 8 parçanın tane büyüklüğü dağılım grafikleri birbirinden ayrı çıkmıştır. Bölme sonucunda elde edilen

parçaların ağırlıklarının hesaplanan ağırlıktan sapma değerleri ise $\pm\%10$ sınırının altındadır (Çizelge 2).

3.2. Bölgeç Yöntemi (Riffling Method)

Bölgeç yönteminin uygulandığı killi, siltli, kumlu ve çakıllı zeminlerin bölgeçle bölünmesi sonucunda elde edilen parçaların tane büyüklüğü dağılım grafikleri Şekil 7'de, bazı eleklerden geçen yüzde değerleri ve bölme sonucunda elde edilen ağırlıkların hesaplanan ağırlıktan sapma değerleri ise Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3'den görüleceği gibi bölgeç yöntemiyle bölünen bütün numunelerin ağırlıklarının hesaplanan ağırlıktan sapma değerleri $\pm\%10$ sınırının altındadır.



Şekil 7. Bölgeç yöntemiyle bölünen numunelerin tane büyüklüğü dağılımları, a) Killi numune, b) Siltli numune, c) Kumlu numune, d) Çakıllı numune

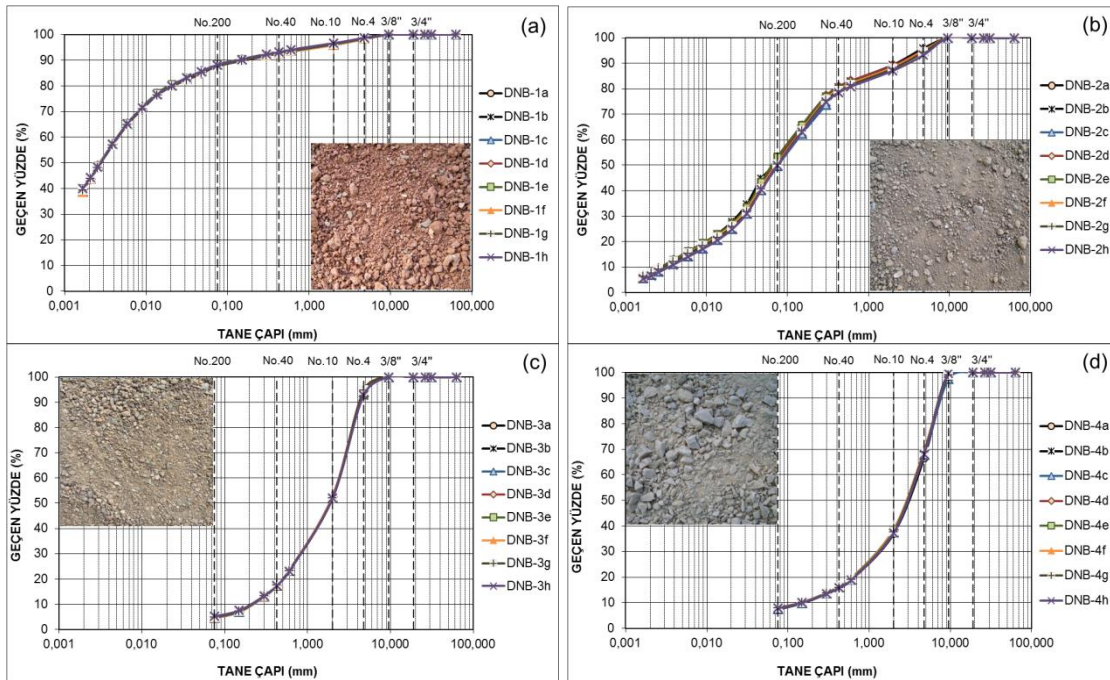
Çizelge 3. Bölgeç yöntemiyle bölünen killi, siltli, kumlu ve çakıllı zeminlerin eleklerden geçen yüzdeleri ve hesaplanan ağırlıktan sapma değerleri.

Zemin	Parça No	Ağırlık (g)	Sapma değeri, Δ (%)	Eleklerden toplam geçen yüzde, %					
				No.200	No.40	No.10	No.4	3/8"	3/4"
Killi numune	B-1a	1256,8	-1,6	87,2	91,5	94,2	95,9	97,5	99,0
	B-1b	1296,7	1,6	88,3	92,7	95,8	97,5	98,7	100,0
	B-1c	1325,6	0,5	88,7	93,3	96,2	98,0	99,0	100,0
	B-1d	1312,2	-0,5	86,2	90,5	93,4	95,2	96,4	97,0
Siltli numune	B-2a	1957,9	3,0	44,5	70,3	78,7	84,3	88,9	93,9
	B-2b	1842,1	-3,0	47,1	73,6	81,8	87,4	92,1	97,4
	B-2c	1887,4	8,0	47,3	73,2	81,9	87,4	92,2	96,4
	B-2d	1606,4	-8,0	47,7	74,3	82,7	88,6	93,2	97,6
Kumlu numune	B-3a	951,1	3,7	4,7	18,6	55,5	94,6	100,0	100,0
	B-3b	883,2	-3,7	4,5	17,1	53,0	93,4	100,0	100,0
	B-3c	983,6	-0,4	4,5	17,9	53,9	93,6	100,0	100,0
	B-3d	991,7	0,4	4,5	17,6	55,5	93,9	100,0	100,0
Çakıllı numune	B-4a	1127,2	8,6	2,9	3,7	7,3	19,2	39,6	79,7
	B-4b	949,0	-8,6	1,5	2,6	6,7	19,3	41,6	81,0
	B-4c	998,9	3,3	1,4	2,3	5,8	17,9	40,2	76,1
	B-4d	934,7	-3,3	1,8	2,9	7,2	20,7	43,4	85,9

3.3. Dönen Numune Bölme Yöntemi (Rotary Sample Divider Method)

Dönen numune bölme yöntemiyle bölünen killi, siltli, kumlu ve çakıllı zeminlerden elde edilen tane büyüklüğü dağılım grafikleri Şekil 8'de verilmiştir. Daha önceden de belirtildiği gibi bu numunelerden killi, siltli ve kumlu numuneler bölgeç yönteminde kullanılan killi, siltli ve kumlu numunelerle aynı yerden alınmış özdeş numunelerdir. Çakıllı numune ise bölgeç yönteminde kullanılan çakıllı numuneden farklı bir numunedir.

Dönen numune bölme yöntemiyle bölünen killi, siltli, kumlu ve çakıllı numunelerin bazı eleklerden geçen yüzdeleri ve bölme sonucunda elde edilen ağırlıkların hesaplanan ağırlıktan sapma değerleri Çizelge 4'de verilmiştir. Bu yöntemle bölünen parçaların ağırlıklarının sapma değerlerinin de $\pm 10\%$ sınırının altında kaldığı Çizelge 4'den görülmektedir.



Şekil 8. Elektrikli dönen kavaz yöntemiyle bölünen numunelerin tane büyüklüğü dağılımları, a) Killi numune, b) Siltli numune, d) Kumlu numune, e) Çakıllı numune

Çizelge 4. Elektrikli dönen kavanoz yöntemiyle bölünen killi, siltli, kumlu ve çakıllı zeminlerin eleklerden geçen yüzdeleri ve hesaplanan ağırlıktan sapma değerleri.

Zemin	Parça No	Ağırlık (g)	Sapma değeri, Δ (%)	Eleklerden toplam geçen yüzde, %					
				No.200	No.40	No.10	No.4	3/8"	3/4"
Killi numune	DNB-1a	503,3	-0,9	88,1	93,0	96,4	98,5	100,0	100,0
	DNB-1b	497,1	-2,1	87,8	92,6	96,0	98,3	100,0	100,0
	DNB-1c	494,2	-2,7	88,2	92,9	96,2	98,6	100,0	100,0
	DNB-1d	526,3	3,6	87,7	93,1	96,5	98,5	100,0	100,0
	DNB-1e	511,3	0,7	88,4	93,4	96,7	98,5	100,0	100,0
	DNB-1f	507,0	-0,2	87,8	92,6	95,9	98,4	100,0	100,0
	DNB-1g	515,2	1,5	87,7	92,8	96,3	98,5	100,0	100,0
	DNB-1h	508,2	0,1	88,2	93,2	96,6	98,7	100,0	100,0
Siltli numune	DNB-2a	324,7	-0,9	50,2	79,1	88,4	94,7	100,0	100,0
	DNB-2b	324,9	-0,8	51,5	80,6	89,4	95,9	100,0	100,0
	DNB-2c	329,3	0,5	49,6	79,6	88,3	94,7	100,0	100,0
	DNB-2d	330,9	1,0	52,1	80,8	89,1	95,1	100,0	100,0
	DNB-2e	326,3	-0,4	53,3	80,2	88,1	94,3	100,0	100,0
	DNB-2f	330,7	1,0	50,7	79,6	88,4	94,9	100,0	100,0
	DNB-2g	323,0	-1,4	50,2	79,1	87,9	94,4	100,0	100,0
	DNB-2h	330,6	0,9	49,9	78,5	87,1	93,2	100,0	100,0
Kumlu numune	DNB-3a	374,7	-0,1	4,3	55,4	98,5	100,0	100,0	100,0
	DNB-3b	372,5	-0,7	4,5	53,1	98,1	99,7	100,0	100,0
	DNB-3c	373,1	-0,5	4,7	52,1	98,0	99,9	100,0	100,0
	DNB-3d	373,3	-0,4	4,0	55,3	98,2	100,0	100,0	100,0
	DNB-3e	378,1	0,8	4,3	55,0	98,4	100,0	100,0	100,0
	DNB-3f	374,9	0,0	4,5	53,3	98,0	100,0	100,0	100,0
	DNB-3g	381,3	1,7	4,5	53,7	98,1	100,0	100,0	100,0
	DNB-3h	371,9	-0,8	4,6	52,6	98,0	100,0	100,0	100,0
Çakıllı numune	DNB-4a	606,5	2,7	7,4	15,8	36,9	66,6	99,7	100,0
	DNB-4b	587,4	-0,5	7,7	16,1	38,2	69,3	100,0	100,0
	DNB-4c	596,3	1,0	7,5	16,0	37,6	67,8	97,5	100,0
	DNB-4d	584,2	-1,1	7,8	16,0	38,4	69,4	99,1	100,0
	DNB-4e	582,3	-1,4	8,0	16,3	38,6	69,3	98,6	100,0
	DNB-4f	580,2	-1,8	8,1	16,0	38,3	69,4	99,0	100,0
	DNB-4g	589,3	-0,2	8,0	15,9	37,7	68,8	99,0	100,0
	DNB-4h	598,1	1,3	7,8	15,9	37,3	68,1	99,7	100,0

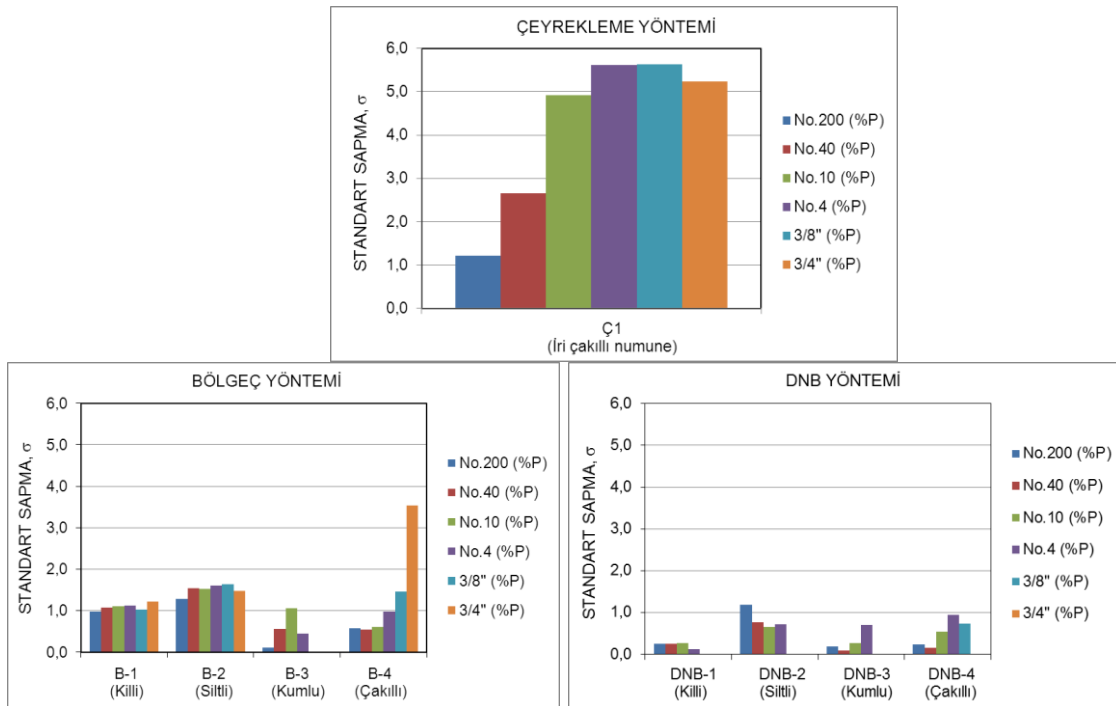
4. SONUÇLAR VE TARTIŞMA (RESULTS AND DISCUSSION)

Tane büyüklüğü dağılım grafiklerinin aralarındaki açıklığı sayısal olarak ifade edebilmek ve birbirleriyle karşılaştırabilmek amacıyla çeyrekleme, bölgeç ve dönen numune bölme yöntemleriyle bölünerek elde edilen parçaların bazı eleklerden geçen yüzdelерinin Eşitlik 1 ile hesaplanan standart sapmaları toplu halde Çizelge 5'de sunulmuştur.

Çizelge 5'de verilen standart sapmaların karşılaştırılmasını kolaylaştırmak amacıyla her numune bölme yöntemi için ayrı ayrı histogram grafikler oluşturulmuş ve Şekil 9'da sunulmuştur. Yöntemlerin birbirleriyle karşılaştırılmasına imkân sağlamak için Şekil 9'da verilen her üç grafikte de standart sapma değerleri aynı ölçekte çizilmiştir.

Çizelge 5. Çeyreklemeye, bölgeç ve dönen numune bölme yöntemleriyle bölünerek elde edilen parçaların eleklerden geçen yüzdelere göre standart sapmaları (σ).

Numune tipi	Parça adı	Standart sapma, σ					
		No.200 (% P)	No.40 (% P)	No.10 (% P)	No.4 (% P)	3/8" (% P)	3/4" (% P)
Çakıllı	Ç-1	1,22	2,66	4,91	5,61	5,63	5,23
Killi	B-1	0,98	1,07	1,11	1,13	1,03	1,22
Siltli	B-2	1,27	1,53	1,53	1,60	1,63	1,47
Kumlu	B-3	0,10	0,55	1,06	0,45	0,00	0,00
Çakıllı	B-4	0,57	0,55	0,60	0,98	1,46	3,54
Killi	DNB-1	0,26	0,25	0,26	0,12	0,00	0,00
Siltli	DNB-2	1,18	0,77	0,66	0,72	0,00	0,00
Kumlu	DNB-3	0,21	1,19	0,17	0,10	0,00	0,00
Çakıllı	DNB-4	0,24	0,16	0,55	0,94	0,74	0,00



Şekil 9. Çeyreklemeye, bölgeç ve dönen numune bölme yöntemleriyle bölünerek elde edilen parçaların bazı eleklerden geçen yüzdelere göre standart sapmalarının histogramı

Bu çalışmadan elde edilen ve Çizelge 5 ile Şekil 9'da sunulan veriler değerlendirilerek aşağıdaki sonuçlara varılmıştır:

- İri çakıllı bir malzemenin çeyreklemeye yöntemiyle bölünmesi sonucunda elde edilen parçaların standart sapmaları 1 ile 6 arasında değişmektedir. Yaklaşık 2 mm'den (No.10 elek) büyük tanelerde standart sapma değeri 5 civarındadır.
- Bölgeç yönteminin standart sapma değerleri killi numunelerde 1, siltli numunelerde 1,5 civarlarında olup kumlu zeminlerde genellikle 1'den küçüktür. Çakıllı zeminlerde ise standart sapma değeri 4,75 mm'den küçük tanelerde 1'in altında, 4,75 mm'den büyük tanelerde ise 1'in üstünde olup 3,5 dolayındadır.

- Dönen numune bölme yönteminde deneye tabi tutulan bütün zemin tiplerinde (killi, siltli, kumlu ve çakıllı zeminlerde) standart sapma değerleri hemen hemen 1'in altındadır.

Bu sonuçlara göre, çeyreklemeye, bölgeç ve dönen numune bölme yöntemlerinin her üçünün de numune bölme (veya azaltma) işleminde başarılı sonuçlar verdiği ancak, yöntemler birbiriyle kıyaslandığında en başarılı ve temsil edici numune bölme yönteminin dönen numune bölme yöntemi olduğu, dönen numune bölme yöntemini bölgeç yönteminin takip ettiği, en kaba numune bölme yönteminin ise çeyreklemeye yöntemi olduğu belirlenmiştir. Bu çalışmada, çeyreklemeye yöntemi sadece iri çakıllı bir numune üzerinde uygulanmıştır. Benzer konuda yapılacak sonraki çalışmalarda killi, siltli ve kumlu zemin tiplerine de

çeyrekleme yönteminin uygulanmasının ve sonuçlarının karşılaştırılmasının faydalı olacağı düşünülmektedir.

TEŞEKKÜR (ACKNOWLEDGEMENT)

Deneysel çalışmaların yapılmasında katkı veren Mustafa KÜÇÜKAĞA, Sinem ÇELEBİ, Sibel ÖZTEMİZ, Rabia AYDOĞDU ve Aydan GÜL isimli lisans bitirme tezi öğrencilerime teşekkür ederim.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- 1) TS EN 1997-2, "Geoteknik tasarım - Bölüm 2: Zemin etüdü ve deneyleri (Eurocode 7)" *Türk Standartları Enstitüsü*, Bakanlıklar, ANKARA, (2008).
- 2) Orhan M., Özer M. ve Işık, N.S., "Zemin Mekaniği Laboratuvar Deneyleri" *Cilt I (İndeks ve Sınıflama Deneyleri)*, Gazi Kitabevi, Ankara, (2013).
- 3) Liu C. and Evett J.B., "Soil Properties Testing Measurement and Evaluation" Third Edition, Prentice Hall, United States of America, (1997).
- 4) Head K.H., "Manual of Soil Laboratory Testing" *Volume I Soil Classification and Compaction Tests*, Second Edition, John Wiley & Sons, Inc. New York, (1992).
- 5) TS 1900-1, "İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri-Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini" *Türk Standartları Enstitüsü*, Bakanlıklar, Ankara, (2006).
- 6) ASTM C 702M, "Standard Practice for Reducing Samples of Aggregate to Testing Size" *Annual Book of ASTM Standards*, PA, United States, (2011).
- 7) ISO 23909, "Soil quality - Preparation of Laboratory Samples From Large Samples" *International Standard Organizations*, Switzerland, (2008).
- 8) ASTM D 4318, "Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, Plasticity Index of Soils" *Annual Book of ASTM Standards*, PA, United States, (2010).
- 9) ASTM D 422, "Standard Test Method for Particle-Size Analysis of Soil" *Annual Book of ASTM Standards*, PA, United States, (2007).