

ÖRNEK HAZIRLAMA YÖNTEMİNİN LİKİT LİMİT VE PLASTİK LİMİT DEĞERLERİNE ETKİSİ

Mustafa ÖZER

Yapı Eğitimi Bölümü, Teknik Eğitim Fakültesi, Gazi Üniversitesi, 06500 Beşevler, Ankara,
ozerm@gazi.edu.tr

(Geliş/Received: 30.10.2007; Kabul/Accepted: 21.01.2008)

ÖZET

Bu çalışmada, örnek hazırlama yönteminin likit limit ve plastik limit değerleri üzerindeki etkisi araştırılmış olup, ASTM D 4318-00'de tanımlanan yöntem (standart yöntem) ve ülkemizdeki bazı laboratuvarlarda uygulanan örnek hazırlama yöntemiyle (standart olmayan yöntem) hazırlanmış örneklerin likit limit ve plastik limitleri karşılaştırılmıştır. Bu amaçla, Türkiye'nin değişik bölgelerinden alınmış ve likit limiti % 30 ile % 90 arasında değişen 30 adet doğal zemin örneği kullanılmıştır. Örneklerin likit limitleri hem Casagrande, hem de koni batma yöntemiyle belirlenmiştir. Elde edilen deney sonuçları, standart yöntemle hazırlanmış örneklerin likit limitlerinin, standart olmayan yöntemle hazırlanmış örneklerin likit limitlerinden, Casagrande yönteminde % 10'a, koni batma yönteminde ise % 8'e kadar daha yüksek olduğunu göstermiştir. Standart yöntemle hazırlanmış örneklerin plastik limitlerinin ise, standart olmayan yöntemle hazırlanmış örneklerin plastik limitlerinden en fazla % 3'e kadar daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Likit limit ve plastik limit değerleri arasında, örnek hazırlama yönteminden kaynaklanan farkın, örneklerin USCS'ye göre belirlenen zemin sınıflarının değişmesine de yol açabileceği saptanmıştır.

Anahtar Kelimeler: Likit limit, plastik limit, örnek hazırlama yöntemi.

EFFECT OF SAMPLE PREPARATION METHOD ON THE LIQUID LIMIT AND PLASTIC LIMIT VALUES

ABSTRACT

In this study, the effect of sample preparation method on the liquid limit and plastic limit values was examined. For this purpose, the liquid limit and plastic limit values of the samples, which have been determined by dry preparation method defined in ASTM D 4318-00 (standard method) and the method followed by some laboratories in Turkey (non-standard method) were compared. In the study, 30 natural soil samples with a liquid limit values ranging between 30% and 90% taken from various locations of Turkey were used. The liquid limit tests were carried out by both Casagrande and cone penetration methods. Test results indicate that the liquid limit values of the samples prepared by standard method are greater than those of the samples prepared by the non-standard method, up to 10 % in the Casagrande method and up to 8 % in the cone penetration method. The plastic limit values of the samples which were prepared by the standard method are greater than those of the samples prepared by the non-standard method up to 3 %. It was also observed that the soil type of the some samples according to USCS may be altered due to differences of the sample preparation method.

Keywords: Liquid limit, plastic limit, sample preparation method.

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Birleştirilmiş zemin sınıflandırma sistemine (USCS) göre ince taneli zeminlerin zemin sınıfının belirlenmesinde kullanılan başlıca parametrelerden birisi likit limit değeridir. Bununla birlikte, drenajsız

makaslama dayanımı, sıkışabilirlik, geçirimsizlik, şişme özelliği, özgül yüzey alanı, katyon değiştirme kapasitesi ve sıvılaşma gibi bir çok mühendislik özelliğiyle likit limit değeri arasında doğrudan veya dolaylı ilişkiler bulunmaktadır [1]. Bu nedenle likit limit, zeminlerin mühendislik özelliklerinin değeren-

dirilmesinde önemli bir indeks özelliğidir.

Zeminlerin likit limiti, Casagrande ve koni batma yöntemi olmak üzere, iki farklı yöntemle belirlenebilmektedir. Casagrande yöntemi 1930'lu yıllarda Casagrande tarafından geliştirilmiş olup [2], 1940'lı yıllarda yine aynı araştırmacı tarafından standardize edilmiş [3] ve 1964 yılında Amerikan standartlarına dahil edilmiştir [4]. Casagrande yöntemi, günümüzde ASTM D 4318-00 numarasıyla Amerikan standartlarındaki yerini korumaktadır [5].

Koni batma yöntemin temelini, İsveç Devlet Demiryolu Jeoteknik Komisyonu mühendislerinin 1920'li yıllarda yaptığı çalışmalar oluşturmaktadır [4,6]. İsveç Devlet Demiryolu Jeoteknik Komisyonu mühendisleri çeşitli ağırlığa ve uç açısına sahip koniler üzerinde çalışmışlar, ancak bulgularını zeminlerin likit limitleriyle karşılaştırmamışlardır. Koni batma yöntemiyle zeminlerin likit limitinin belirlenmesi ancak, 1960'lı yılların sonlarına rastlamaktadır [4]. Günümüzde İsveç, Fransa ve İngiltere gibi bazı Avrupa ülkelerinin yanı sıra, Kanada ve Hindistan gibi ülkelerde de koni batma yöntemi standart yöntem olarak kabul edilmiştir [7,8]. İngiliz standardı BS 1377: Bölüm 2-1990'da koni batma yöntemi "kesin yöntem", Casagrande yöntemi ise "alternatif yöntem" olarak yer almaktadır [9]. Buna karşın, Amerikan standardı ASTM D 4318-00'de zeminlerin likit limitinin belirlenmesi için önerilen tek yöntem Casagrande yöntemi olup, bu standartta koni batma yöntemine yer verilmemiştir [5].

İnce taneli zeminlerin likit limitine ve plastisite indisine göre zemin sınıfının belirlendiği plastisite abağının 1940'lı yıllarda yine Casagrande tarafından geliştirilmiş olmasıyla birlikte [10], yaklaşık 40 yıl boyunca likit limitin belirlenmesinde ve zeminlerin sınıflandırılmasında kullanılan tek yöntem Casagrande yöntemi olmuştur [4]. Gerek bu nedenle, gerekse ilk yıllardan bu yana Casagrande yöntemiyle belirlenmiş likit limit değerleriyle diğer zemin özellikleri arasında oluşturulmuş bir çok görgül ilişkinin bulunması [1] nedeniyle, Casagrande yöntemi halen geçerliliğini korumakta ve yaygın olarak kullanılmaktadır.

Casagrande ve koni batma yöntemlerinin, zeminlerin likit limitini belirleme mekanizmaları ve ilkeleri birbirinden tamamen farklıdır. Bu nedenle, bu yöntemlerle belirlenen likit limit değerleri de aynı değildir [6,11-14]. Zeminin kil içeriğine ve mineral yapısına bağlı olarak, yöntemlerden biri diğerine göre daha yüksek likit limit verebilmektedir [14]. Likit limiti yaklaşık % 100'e kadar olan zeminlerde Casagrande ve koni batma yöntemleriyle belirlenen likit limit değerleri arasındaki fark nispeten küçükken (en fazla %10'a kadar), likit limiti % 100'den büyük olan zeminlerde ise, Casagrande yöntemi, koni batma yöntemine göre daha yüksek likit limit vermekte ve

likit limit değeri arttıkça her iki yöntemle belirlenen likit limit değerleri arasındaki fark da artmaktadır [4,12,14,15].

Likit limiti tayin edilecek olan örneğin 0.425 mm'den büyük taneler içermemesi gerekmektedir. Bu nedenle, likit limit deneyinden önce örneğin 0.425 mm'lik (40 No.lu) elekten elenmesi gerekmektedir. Örneğin 40 No.lu elekten elenmesi ve deneye hazırlanmasıyla ilgili Amerikan (ASTM D 4318-00) [5], İngiliz (BS 1377: Bölüm 2-1990) [9] ve Türk (TS 1900-2006) [16] standartlarında farklı yöntemler önerilmektedir. Ülkemizdeki bazı laboratuvarlarda ise, bu standartlarda önerilen yöntemlerden daha farklı bir yöntemle örnek hazırlanmaktadır. Bu çalışmanın konusunu oluşturan örnek hazırlanmasıyla ilgili ASTM D 4318-00, BS 1377: Bölüm 2-1990 ve TS 1900-2006 gibi ulusal standartlarda önerilen yöntemler ve ülkemizdeki bazı laboratuvarlarda uygulanan örnek hazırlama yöntemi aşağıda ana hatlarıyla verilmiştir.

2. ÖRNEK HAZIRLAMA YÖNTEMLERİ (SAMPLE PREPARATION METHODS)

2.1. ASTM D 4318-00'e Göre Örnek Hazırlama Yöntemleri (Sample Preparation Methods According to ASTM D 4318-00)

ASTM D 4318-00'de [5] ıslak hazırlama ve kuru hazırlama yöntemi olmak üzere, iki farklı yöntem yer almaktadır.

Islak hazırlama yöntemi (Wet preparation method)

Bu yöntemle göre, öncelikle numunenin içerisinde 0.425 mm'den büyük tanelerin olup olmadığı gözle veya elle (el aletleriyle) kontrol edilmeli, eğer 0.425 mm'den büyük taneler yoksa veya elle ayıklanabilecek kadar azsa örnek doğal haliyle deneye tabi tutulmalıdır. Bu durumda, örneğin doğal su içeriği (kıvamı) likit limit deneyi için gerekenden azsa, yeteri kadar su eklenip iyice karıştırıldıktan sonra, homojen bir kıvam oluşturması için deneyden önce hava sızdırmayan bir nem kabının içerisinde en az 16 saat (bir gece boyu) bekletilmelidir. Örneğin içerisinde elle ayıklanamayacak kadar çok 0.425 mm'den büyük taneler varsa, örnek 40 no.lu elekten yıkanarak elenmelidir. Yıkama işleminden önce, zemin topraklarının yumuşamasını ve iri tanelerin üzerine yapışmış ince tanelerin ayrılmasını sağlamak için, örnek su içerisinde bekletilmelidir. Yıkama işleminden sonra, zemin örneğiyle birlikte yıkama kabında biriken fazla suyun uzaklaştırılması ve örneğin likit limit deneyi için uygun kıvama getirilmesi için şu yöntemlerden bir veya birkaçı birlikte uygulanmalıdır: (a) oda sıcaklığında hava akımına veya, (b) saç kurutma makinesi gibi bir kaynaktan çıkan sıcak hava akımına maruz bırakmak, (c) zemin taneleri çöktükten sonra yüzeyde biriken temiz suyu sifonlama yöntemiyle tahliye etmek, (d)

Bühner hunisi veya filtre mumu kullanarak filtrelemek. Zemin örneği sıcak hava akımına maruz bırakıldığında, örneğin kısmi kurumasını önlemek için yeteri kadar sıklıkta karıştırılması gerekmektedir.

Kuru hazırlama yöntemi (Dry preparation method)

Zemin örneği oda sıcaklığında veya sıcaklığı 60 °C'yi geçmeyen fırında kurutulduktan sonra, bir havan içerisine boşaltılmalı ve münferit zemin tanelerini kırmayacak şekilde lastik tokmakla ezilerek ufalanmalıdır. Ufalama sırasında kırılabilir zayıf tanelere rastlandığında, bu taneler havandan çıkartılmalı ve sonraki aşamada yapılacak olan yıkama işlemine tabi tutulmalıdır. Ufalama işlemi tamamlandıktan sonra, örnek 40 no.lu elekten elenmeli ve eleğin üzerinde kalan malzeme tekrar ufalama işlemine tabi tutulmalıdır. Malzemenin çoğu 40 no.lu elekten geçinceye değin, yada 40 no.lu eleğin üzerinde sadece münferit taneler kalıncaya değin ufalama ve eleme işlemine devam edilmelidir. En son eleme işleminden sonra 40 no.lu eleğin üzerinde kalan malzeme, uygun bir kabin içerisine boşaltılmalı ve üzerine su eklenip yeteri kadar bekletildikten sonra 40 no.lu elekten yıkanarak elenmelidir. Yıkama sonucunda eleğin altına geçen malzeme, önceki aşamada 40 no.lu elekten kuru eleme yoluyla geçirilen malzemeyle birleştirilmeli ve iyice karıştırılmalıdır. Kuru eleme yoluyla elekten geçirilen zemin tanelerinin tamamen ıslanması ve homojen bir kıvam oluşturmaya için deneyden önce hava sızdırmayan bir nem kabının içerisinde en az 16 saat (bir gece boyu) bekletilmelidir.

2.2. BS 1377: Bölüm 2-1990'a Göre Örnek

Hazırlama Yöntemleri (Sample Preparation Methods According to BS 1377: Part 2-1990)

BS 1377: Bölüm 2-1990'da, koşullar elverdiği sürece örneğin doğal haliyle deneye tabi tutulması, özellikle istenilmediği takdirde laboratuvar ortamında dahi kurutulmaması önerilmektedir. Örneği kurutarak deneye hazırlamak gerektiğinde ise, sıcaklığı 50 °C'yi geçmeyen hava dolaşımına bir fırında kurutulabileceği belirtilmektedir. Örnek doğal haliyle deneye hazırlanacağına, öncelikle örneğin dilimlere ayrılarak içerisinde 0.425 mm'den büyük tanelerin olup olmadığının kontrol edilmesi, eğer 0.425 mm'den büyük tanelerin miktarı azsa, elle veya cımbızla ayıklanması önerilmektedir. Doğal haldeki örneğin kıvamı likit limit deneyi için gerekenden katıysa, örneğe su ekleyip iyice karıştırdıktan sonra, deneyden önce hava sızdırmayan bir nem kabının içerisinde 24 saat süreyle bekletilmesi önerilmektedir. Örneğin içerisinde 0.425 mm'den büyük tanelerin miktarı elle veya cımbızla ayıklanamayacak kadar çok olduğunda ise, 40 no.lu elekten yıkanarak geçirilmesi tavsiye edilmektedir. BS 1377: Bölüm 2-1990'da belirtilen yıkayarak eleme yöntemiyle, ASTM D 4318-00'de tanımlanan yıkayarak eleme yöntemi hemen hemen aynıdır.

2.3. TS 1900-2006'ya Göre Örnek Hazırlama

Yöntemleri (Sample Preparation Methods According to TS 1900-2006)

TS 1900-2006'da zemin örneklerinin likit limit deneyi için hazırlanmasıyla ve 40 no.lu elekten geçirilmesiyle ilgili özel bir bölüm bulunmayıp, çeşitli bölümlerinde notlar halinde bilgiler yer almaktadır. Belirli bir işlem sırası takip etmeyen bu notlar derlenip özetlenecek olursa; yerinde oluşmuş bazı zeminlerin likit limitinin havada kurutulmuş değerinin farklı çıkabileceği belirtilerek, deneyin "doğal su içeriğinde" yapılması önerilmektedir. TS 1900-2006'da yer alan bir başka notta ise, 105 ± 5 °C sıcaklığındaki fırında kurutulan bazı zeminlerin özelliklerinin yeniden kazanılamayacak biçimde değiştiği belirtilmekte ve zemin örneklerinin açıkta kurutulması önerilmektedir. Bununla birlikte, bu değişimin pratikteki etkisinin pek çok zemin için önemsiz olduğu ifade edilmektedir. Bu notun devamında, kıvam limiti deneylerinde kullanılacak örneklerin 50 °C ve daha yüksek sıcaklıktaki bir etüvde kurutulmamaları gerektiği, yerinde oluşmuş bazı zeminlerin açıkta kurutulmaktan bile etkilendikleri, bu nedenle örneklerin "doğal su içeriğinde" deneye tabi tutulmaları gerektiği belirtilmektedir. TS 1900-2006'da iri taneleri de içeren zeminlerin 40 no.lu elekten "ovularak", az miktarda kohezyonlu malzeme içeren zeminlerin ise "yıkanarak" geçirilmesi önerilmektedir.

2.4. Türkiye'de Yaygın Olarak İzlenen Örnek

Hazırlama Yöntemi (Sample Preparation Methods Commonly Followed in Turkey)

Ülkemizdeki laboratuvarların tamamındaki uygulama bilinmemekle birlikte, bazılarında uygulanan örnek hazırlama yöntemine göre, araziden getirilen örnek öncelikle bir tepsi içerisine konularak fırında kurutulmaktadır. Aynı örneğe genellikle tane boyu dağılım deneyi de yapılacağından ve tane boyu dağılım deneyi için örneğin kuru ağırlığının bilinmesi gerektiğinden fırın sıcaklığı genellikle 105 ± 5 °C'ye ayarlanmaktadır. Sonuç olarak likit limit deney örneği genellikle 105 ± 5 °C sıcaklığındaki fırında kurutulmaktadır. Örnek, kurutulduktan sonra bir havan yada uygun bir kap içerisine konulup lastik tokmakla ezilerek ufalanmakta ve 40 no.lu elekten geçirilmektedir. Ufalama ve eleme işlemine, likit limit deneyi için yeterli örnek elde edildikten sonra 40 no.lu eleğin üzerinde kalan malzeme atılmaktadır. 40 no.lu eleğin altına geçen örnek ise, karıştırma kabına aktarılmakta ve yeterince su eklenip karıştırıldıktan sonra likit limit deneyine tabi tutulmaktadır.

Ülkemizde yaygın olarak uygulanan bu örnek hazırlama yöntemi, likit limit deneyi için yeterli örnek elde edildikten sonra 40 no.lu eleğin üzerinde kalan malzemenin atılması dışında, ASTM D 4318-00'de tanımlanan "kuru hazırlama" yöntemine benzerlik

göstermektedir. Ancak kuru eleme sonunda 40 no.lu eleğin üzerinde kalan malzemenin atılmasıyla birlikte, iri tanelerin üzerine yapıştığı için veya birbirine yapışarak topak oluşturduğu için 40 no.lu elekten geçemeyen kil-silt taneleri de deney dışında bırakılmış olmaktadır.

Ülkemizdeki bazı laboratuvarlarda uygulanan bu yöntemin, yukarıda adı geçen standartların hiçbirisine uymadığı açıktır. Çalışmanın bundan sonraki bölümlerinde bu örnek hazırlama yöntemi “standart-dışı” yöntem olarak adlandırılacaktır. Bu çalışmada, standart-dışı yöntemle ve ASTM D 4318-00’de belirtilen kuru hazırlama yöntemiyle (bundan sonra “standart yöntem” olarak adlandırılacaktır) hazırlanan örneklerin likit limit ve plastik limit değerleri karşılaştırılmıştır. Toplam 30 adet doğal zemin örneğinin kullanıldığı bu çalışmada, likit limit deneyleri hem Casagrande, hem de koni batma yöntemiyle belirlenmiştir.

3. MALZEME VE YÖNTEM (MATERIALS AND METHOD)

3.1. Çalışmada Kullanılan Zemin Örnekleri (Soil Samples Used in the Study)

Çalışmada, çeşitli projeler kapsamında, Türkiye’nin ve Ankara’nın değişik bölgelerinde, çeşitli firmalar tarafından yapılan sondajlardan ve açılan araştırma çukurlarından, firma elemanları tarafından alınan örselenmiş örnekler kullanılmıştır.

3.2. Çalışmada Kullanılan Gereçler (Apparatus Used in the Study)

Likit limit deneylerinde, ASTM D 4318-00’e uygun sert tabanlı Casagrande aleti ve BS 1377: Bölüm 2-1990’a uygun koni batma aleti, koni batma deneylerinde ise, koninin 5 saniyelik batma süresini

ayarlamak için otomatik-dijital zamanlama ünitesi kullanılmıştır. Örneklerin bölümlere ayrılmasında Şekil 1’de görülen elektrikli örnek bölme cihazı kullanılmıştır.

3.3. Deney Yöntemi (Experimental Method)

Likit limit deneyine tabi tutulacak örnekler, öncelikle bir tepsi içerisine konularak 60°C sıcaklığındaki fırında kurutulup, lastik tokmakla nazikçe ezilerek ufalanmış ve daha sonra elektrikli örnek bölme cihazıyla iki bölüme ayrılmıştır.

Örneklerin bir bölümü standart, diğer bölümü ise standart-dışı örnek hazırlama yöntemiyle likit limit deneyine hazırlanmıştır.

Standart yöntemle göre hazırlanan örnekler, 40 no.lu elekten kuru olarak geçirilmeksizin doğrudan bir tepsi içerisine boşaltılmış ve üzerini örtecek kadar su eklenip zemin topraklarının yumuşaması için 2 gün bekletilmiştir. Daha sonra, derin bir yıkama kabının üzerine 40 no.lu elek yerleştirilmiş ve tepsi içerisindeki zemin örneği eleğin üzerine boşaltılıp elle müdahale edilerek ve mümkün olduğunca az su kullanılarak 40 no.lu elekten yıkanarak geçirilmiştir. Yıkama kabında biriken fazla suyun berraklaşması için bir veya iki gün beklendikten sonra, yüzeydeki temiz su sifonlama yöntemiyle tahliye edilmiştir. Yıkama kabındaki zemin örneğinin su içeriğini azaltıp, kıvamını likit limit deneyine uygun hale getirmek için 60°C sıcaklığındaki hava dolaşım (fanlı) fırına konulmuş ve örneğin kısmi kurumasını önlemek için sık sık kontrol edilerek karıştırılmak suretiyle katılaşması sağlanmıştır. Zemin örneği belirli bir kıvama geldikten sonra karıştırma kabına aktarılmış ve iyice karıştırılmıştır. Karıştırma kabına aktarılan örneğin kıvamı likit limit deneyi için gerekenden fazla olduğu durumlarda, laboratuvar



Şekil 1. Elektrikli örnek bölme cihazı (electrical sample divider)

bekletilerek uygun kıvama gelmesi sağlanmıştır.

Standart-dışı yöntemle hazırlanan örnekler ise, Bölüm 2.4'de tarif edilen işlemler uygulanmıştır. Bu yöntemle göre hazırlanan örnekler, karıştırma kaplarına aktarılıp üzerlerine yeteri kadar su eklendikten sonra iyice karıştırılmış ve eklenen suyun bütün zemin tanelerine nüfuz edip homojen bir kıvam oluşturması için likit limit deneyinden önce en az 16 saat süreyle hava sızdırmayan nem kabının içerisinde bekletilmiştir.

Plastik limit deney örnekleri, likit limit deneyleri için hazırlanan örneklerin bir kısmını alarak elde edilmiştir. Plastik limit örnekleri uygun kıvama gelinceye kadar laboratuvarında bekletilmiş ve daha sonra ASTM D 4318-00'de tanımlanan yöntemle plastik limit deneyine tabi tutulmuştur.

4. DENEYSEL BULGULAR VE TARTIŞMA (EXPERIMENTAL RESULTS AND DISCUSSION)

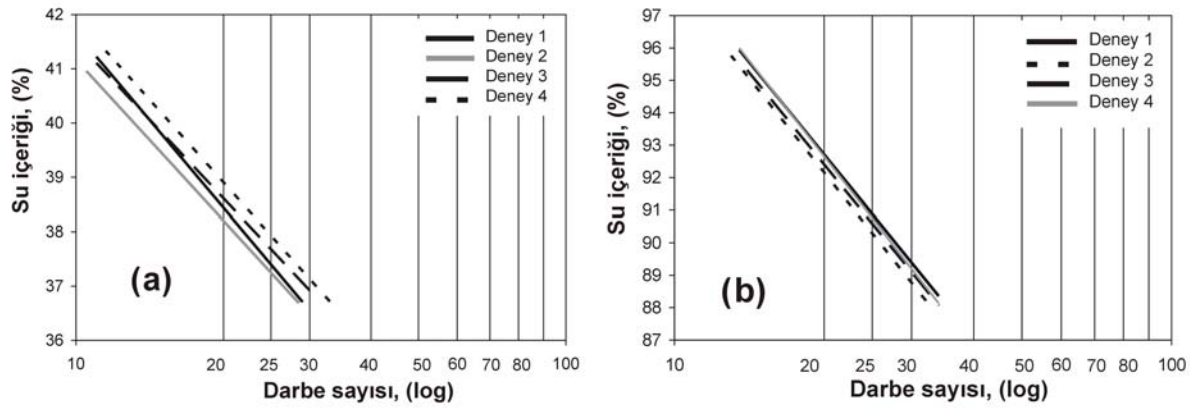
4.1. Likit Limit ve Plastik Limit Deneylerinin Tekrarlanabilirliği (Repeatability of the Liquid Limit and Plastic Limit Tests)

Likit limit deneyi, aynı alet ve aynı yöntemle, aynı kişi tarafından, aynı numune üzerinde birden fazla tekrarlandığında, elde edilecek likit limit değerleri

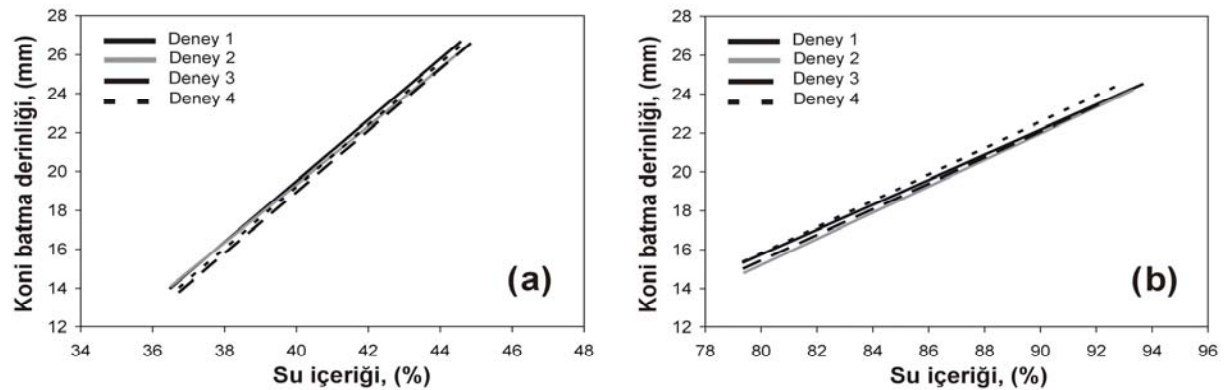
arasında belirli bir farkın olması mümkündür. Buna, deneyin tekrarlanabilirliği adı verilmektedir [17]. Tekrarlanabilirlik değerleri arasındaki fark, deneyi yapan kişinin el becerisine ve deneyimine göre değişebilmektedir. Bu nedenle, bu çalışmadaki tüm deneyler çalışmanın yazarı tarafından yapılmıştır. Likit limit değerlerinin karşılaştırıldığı bu çalışmada, sonuçlar arasındaki olası farkların ne kadarının tekrarlanabilirlikten kaynaklanabileceğinin belirlenmesi için, CL tipi düşük plastisiteli ve CH tipi yüksek plastisiteli iki farklı örneğin likit limit deneyleri hem Casagrande hem de koni batma yöntemiyle 4'er kez tekrar edilmiş ve sonuçlar karşılaştırılmıştır. Bu deneylerden elde edilen sonuçlar Şekil 2 ve 3'de verilmiştir.

Casagrande yöntemiyle belirlenen en düşük ve en yüksek likit limit değerleri arasındaki fark Örnek 1'de 0.7, Örnek 2'de 0.6'dır. Koni batma yöntemiyle belirlenen en düşük ve en yüksek likit limit değerleri arasındaki fark ise, Örnek 1'de 0.4, Örnek 2'de 0.9'dur (Çizelge 1). Her iki yöntemle de, dörder kez yapılan likit limit deneylerinden elde edilen likit limit değerleri arasındaki farkın % 1'den daha az olduğu görülmektedir.

En yüksek ve en düşük plastik limit değerleri arasındaki fark ise; Örnek 1'de 0.6, Örnek 2'de 0.9



Şekil 2. Casagrande yöntemiyle dörder kez tekrarlanan likit limit deneylerinin sonuçları (a) Örnek 1, (b) Örnek 2 (Four replicate test results obtained by Casagrande method; (a) Sample 1, (b) Sample 2)



Şekil 3. Koni batma yöntemiyle dörder kez tekrarlanan likit limit deneylerinin sonuçları (a) Örnek 1, (b) Örnek 2 (Four replicate test results obtained by cone penetration method, (a) Sample 1, (b) Sample 2)

Çizelge 1. Likit limit ve plastik limit deneylerinin tekrarlanabilirlikleri (Repeatability of the liquid limit and plastic limit tests)

	Örnek1			Örnek2		
	$(W_L)_C$	$(W_L)_K$	W_P	$(W_L)_C$	$(W_L)_K$	W_P
Deney 1	37.2	40.3	19.5	90.3	86.2	33.0
Deney 2	37.4	40.4	19.8	90.6	86.6	33.2
Deney 3	37.7	40.5	20.0	90.8	86.9	33.5
Deney 4	37.9	40.7	20.1	90.9	87.1	33.9
Standart Sapma*	0.311	0.171	0.265	0.265	0.392	0.392

$(W_L)_C$: Casagrande yöntemiyle belirlenen likit limit değerleri.

$(W_L)_K$: Koni batma yöntemiyle belirlenen likit limit değerleri.

W_P : Plastik limit değerleri.

*ASTM E 691-05'e [17] göre hesaplanmıştır.

olarak elde edilmiştir. Plastik limit deneyinin insan faktörüne çok daha bağlı olduğu dikkate alınacak olursa, elde edilen bu farkın çok düşük olduğu öne sürülebilir.

Bu sonuçlara göre, standart ve standart-dışı yöntemle hazırlanan örnekler üzerinde elde edilecek likit limit ve plastik limit değerleri arasındaki fark %1'den fazla çıkarsa, bu farkın, deneyin tekrarlanabilirliğinden değil, sadece örnek hazırlama yönteminden kaynaklandığı düşünülecektir.

4.2. Örnek Hazırlama Yöntemlerinin

Karşılaştırılması (Comparison of the Sample Preparation Methods)

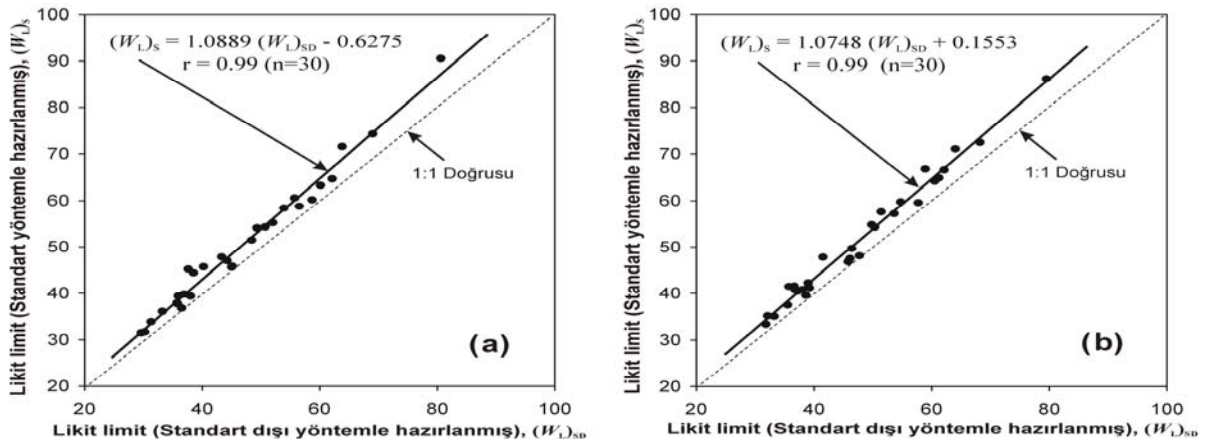
Standart ve standart-dışı yöntemle hazırlanan örneklerin Casagrande ve koni batma yöntemleriyle belirlenen likit limit ve plastik limitleri Çizelge 2'de verilmiştir. Elde edilen sonuçlar, standart yöntemle hazırlanan örneklerin Casagrande yöntemiyle belirlenen likit limitlerinin, standart-dışı yöntemle hazırlanan örneklerin likit limitlerinden % 10'a kadar daha yüksek olduğunu göstermiştir. Sadece üç örneğin (örnek no. 16, 18 ve 26) likit limitleri arasındaki fark % 1'in altında kalmıştır (Çizelge 2).

Koni batma yöntemiyle yapılan likit limit deneylerinde ise, standart yöntemle hazırlanan örneklerin likit limitlerinin, standart-dışı yöntemle hazırlanan örneklerin likit limitlerinden % 8'e kadar daha yüksek olduğu saptanmıştır. Koni batma yöntemiyle yapılan deneylerde sadece bir örneğin (örnek no. 18) likit limit değerleri arasındaki fark %1'in altındadır.

Standart ve standart-dışı yöntemle hazırlanan örneklerin likit limitlerinin karşılaştırılması Şekil 4'de, plastik limitlerinin karşılaştırılması ise Şekil 5'de verilmiştir.

Standart yöntemle hazırlanmış örneklerin likit limitlerinin, standart-dışı yöntemle hazırlanmış örneklerin likit limitlerinden daima daha yüksek olduğu (veri noktaları 1:1 doğrusunun üzerindedir) ve zeminlerin likit limiti arttıkça, standart ve standart-dışı yöntemle hazırlanmış örneklerin likit limitleri arasındaki farkın da arttığı Şekil 4'ten görülmektedir (regresyon doğrusu 1:1 doğrusundan uzaklaşmaktadır).

Örnek hazırlama yönteminin plastik limit üzerindeki etkisinin de göz ardı edilemeyecek düzeyde olduğu görülmüştür. 30 adet örnekten 10 tanesinin plastik



Şekil 4. Standart ve standart-dışı yöntemle hazırlanmış örneklerin (a) Casagrande yöntemiyle, (b) koni batma yöntemiyle belirlenen likit limitlerinin karşılaştırılması (Comparison of the liquid limit values of the samples prepared according to the standard and non-standard methods (a) determined by Casagrande method, and (b) determined by cone penetration method)

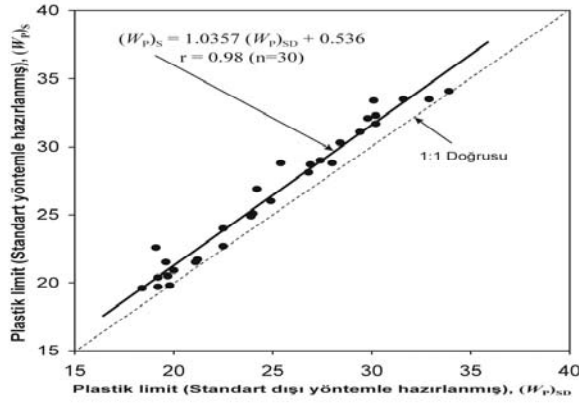
limitleri arasındaki fark %1'in altında kalırken, diğer örneklerin standart yöntemle elde edilmiş plastik limitlerinin, standart-dışı yöntemle elde edilmiş plastik limitlerinden % 3'e kadar daha yüksek olduğu Çizelge 2 ve Şekil 5'den görülmektedir.

Standart-dışı yöntemde, kuru eleme sonunda 40 no.lu eleğin üzerinde kalan malzemenin atılmasıyla birlikte, birbirine yapışarak topak oluşturduğu için veya iri tanelerin üzerine yapıştığı için elekten geçemeyen kil-silt taneleri likit limit deneyinin dışında bırakılmak-

Çizelge 2. Standart ve standart-dışı yöntemle hazırlanan örneklerin Casagrande ve koni batma yöntemleriyle belirlenen likit limit ve plastik limitleri (Liquid limit values obtained by Casagrande and cone penetration methods on the samples, prepared according to standard and non-standard methods and plastic limit values)

Örnek No.	Casagrande yöntemiyle			Koni batma yöntemiyle			Plastik limit			Tane boyu dağılımı			
	(W _L) _S	(W _L) _{SD}	Fark	(W _L) _S	(W _L) _{SD}	Fark	(W _P) _S	(W _P) _{SD}	Fark	No.4 (% P)	No.40 (% P)	No.200 (% P)	Kil (%)
1	90.6	80.6	10.0	86.2	79.5	6.7	33.4	30.1	3.3	100	100	99.3	35.9
2	74.3	69.0	5.3	72.5	68.2	4.3	33.5	32.9	0.6	95.6	85.1	75.1	39.9
3	71.6	63.8	7.8	71.1	64.0	7.1	33.5	31.6	1.9	100	94.4	89.2	34.1
4	64.7	62.1	2.6	66.6	62.1	4.5	28.7	26.9	1.8	99.5	92.1	85.2	26.0
5	63.3	60.1	3.2	64.9	61.2	3.7	29.0	27.4	1.6	99.4	95.1	88.9	29.0
6	60.6	55.7	4.9	66.8	58.9	7.9	32.3	30.2	2.1	99.2	96.8	72.1	12.5
7	60.2	58.7	1.5	64.2	60.5	3.7	28.8	25.4	3.4	98.6	91.0	84.1	23.6
8	58.8	56.5	2.3	59.6	57.7	1.9	31.1	29.4	1.7	99.0	93.5	82.2	13.4
9	58.4	53.9	4.5	59.8	54.7	5.1	30.3	28.4	1.9	85.4	65.0	52.6	15.6
10	55.2	52.0	3.2	57.2	53.6	3.6	26.0	24.9	1.1	92.6	84.3	71.9	19.4
11	54.3	50.7	3.6	57.6	51.4	6.2	28.1	26.8	1.3	90.0	82.6	68.6	25.1
12	54.1	49.3	4.8	54.8	49.8	5.0	25.1	24.0	1.1	95.6	73.2	57.2	16.2
13	51.5	48.4	3.1	54.3	50.3	4.0	26.9	24.2	2.7	90.3	74.4	60.6	15.8
14	47.8	43.3	4.5	49.7	46.4	3.3	28.8	28.0	0.8	100	87.2	46.3	7.2
15	47.0	44.2	2.8	47.5	46.1	1.4	24.0	22.5	1.5	99.3	94.5	83.1	19.4
16	45.8	45.1	0.7	46.8	45.8	1.0	32.1	29.8	2.3	100	95.8	85.4	35.5
17	45.7	40.2	5.5	40.7	36.8	3.9	21.5	19.6	1.9	97.2	75.8	44.6	7.2
18	45.6	45.0	0.6	48.1	47.7	0.4	34.1	33.9	0.2	100	97.0	64.6	27.1
19	45.2	37.6	7.6	47.8	41.5	6.3	22.6	19.1	3.5	90.0	63.3	46.2	9.1
20	44.4	38.5	5.9	41.5	35.7	5.8	31.7	30.2	1.5	97.9	79.2	58.9	14.0
21	39.8	36.9	2.9	42.3	39.0	3.3	20.5	19.7	0.8	97.0	82.3	58.9	16.2
22	39.4	38.0	1.4	41.2	39.2	2.0	21.7	21.2	0.5	89.3	74.4	56.6	13.7
23	39.4	35.9	3.5	41.6	36.6	5.0	22.7	22.5	0.2	76.5	46.5	27.3	4.5
24	37.9	35.7	2.2	40.8	38.0	2.8	19.6	18.4	1.2	86.1	63.7	47.6	12.8
25	37.7	35.8	1.9	40.5	37.2	3.3	19.8	19.8	0.0	94.0	85.4	75.1	16.2
26	36.8	36.5	0.3	39.6	38.6	1.0	24.9	23.9	1.0	100	92.4	70.0	3.4
27	36.1	33.2	2.9	37.5	35.5	2.0	19.7	19.2	0.5	78.3	62.0	40.1	6.7
28	33.9	31.3	2.6	35.2	32.1	3.1	21.5	21.1	0.4	81.4	60.3	40.5	8.2
29	31.7	30.2	1.5	35.1	33.2	1.9	20.9	20.0	0.9	99.2	82.0	58.9	8.0
30	31.5	29.6	1.9	33.4	31.8	1.6	20.4	19.2	1.2	100	99.0	83.7	11.1

Açıklamalar: (W_L)_S : Standart yöntemle hazırlanmış örneklerin likit limitleri, (W_L)_{SD}: standart-dışı yöntemle hazırlanmış örneklerin likit limitleri, (W_P)_S: standart yöntemle hazırlanmış örneklerin plastik limitleri, (W_P)_{SD}: standart-dışı yöntemle hazırlanmış örneklerin plastik limitleri.



Şekil 5. Standart ve standart-dışı yöntemle hazırlanmış örneklerin plastik limitlerinin karşılaştırılması (Comparison of the plastic limit values of the samples prepared according to the standard and non-standard methods)

tadır. Aynı örnek, standart yöntemle hazırlandığında ise, eleğin üzerinde kalan malzeme yıkanarak elekten geçirildiği için, kuru eleme yoluyla elekten geçemeyen kil-silt taneleri de likit limit deneyine dahil edilmektedir. Bu nedenle, standart yöntemle hazırlanan örneklerin kil yüzdesinin, standart-dışı yöntemle hazırlanan örneklerin kil yüzdesinden daha fazla olduğu düşünülmektedir. Bu nedenle, standart yöntemle hazırlanan örneklerin likit limitleri, standart-dışı yöntemle hazırlanan örneklerin likit limitlerinden daima büyük çıkmaktadır.

Kuru eleme sonunda 40 no.lu eleğin üzerinde kaldığı için atılan malzemedeki kil-silt miktarı ne kadar fazla olursa, standart ve standart-dışı yöntemle hazırlanan örneklerin likit limitleri arasındaki farkın da o denli büyük olacağı düşünülmektedir. Bu düşüncenin doğruluğunu sınamak için 5 örneğin kuru eleme ve ıslak eleme yoluyla 40 no.lu elekten geçen yüzdeleri incelenmiştir. Bu örneklerin, öncelikle toplam kuru ağırlıkları tartılarak kaydedilmiştir (W_1). Daha sonra lastik tokmakla bir müddet ezilip ufalanmış ve 40 no.lu elekten kuru olarak elenip, eleğin üzerinde kalan malzeme tartıldıktan (W_2) sonra bir gün boyunca su

içerisinde bekletilmiş ve 40 no.lu elekten yıkanarak elenmiştir. Yıkama sonunda eleğin üzerinde kalan malzeme bir kapta toplanıp fırında kurutulduktan sonra ağırlığı tartılarak kaydedilmiştir (W_3). İki tartı arasındaki fark, 0.425 mm'den küçük olduğu halde kuru eleme yoluyla 40 no.lu elekten geçemeyen tanelerin ağırlığını vermektedir. Bu ağırlığı, 40 no.lu elekten toplam geçen malzeme ağırlığına bölerek, 0.425 mm'den küçük olduğu halde kuru eleme yoluyla 40 no.lu elekten geçemeyen tanelerin, toplam geçen tanelere oranı hesaplanmıştır (P_2). Bu oran, standart-dışı yöntemle hazırlanan örneklerde, eleğin üzerinde kaldığı için atılmak suretiyle likit limit deneyine dahil edilmeyen tanelerin oranını vermektedir. Başka bir ifadeyle, 0.425 mm'den küçük tanelerin ne kadarının deney dışında bırakıldığını göstermektedir. Bu oran ne kadar büyük olursa, o kadar fazla malzeme deney dışında bırakılmış olmaktadır. 5 örnek üzerinde yapılan bu analizin sonuçları Çizelge 3'de verilmiştir.

Çizelge 3'den görüleceği gibi, 0.425 mm'den küçük olduğu halde deney dışında bırakılan tanelerin toplam geçen tanelere oranı arttıkça, standart ve standart-dışı yöntemle hazırlanan örneklerin likit limitleri arasındaki fark da artmakta. Örneğin 3 no.lu örnekte, 40 no.lu elekten toplam geçen malzemenin % 63.5'i deney dışında bırakılmış, bunun sonucunda da örneğin likit limiti olması gerekenden % 7.8 daha az belirlenmiştir. 26 no.lu örnekte ise, 40 no.lu elekten toplam geçen malzemenin sadece % 13.8'i deney dışında bırakılmış ve bunun sonucunda da örneğin likit limiti % 0.3 daha az belirlenmiştir (Çizelge 3).

Örneklerin likit limit ve plastik limitleri arasında örnek hazırlama yönteminden kaynaklanan farkın, uygulama açısından önemli olabilecek bir etkisi, USCS'ye göre zemin sınıfının farklı belirlenmesine yol açabilmesidir. Likit limiti %50'ye yakın olan zeminler, plastisite abasında düşük plastisiteyle yüksek plastisiteyi birbirinden ayıran "likit limit=50" doğrusunun solunda veya sağında yer alabilmektedir.

Çizelge 3. Kuru eleme yoluyla 40 no.lu elekten geçemeyen kil-silt tanelerinin toplam geçen tanelere oranı (Proportion of clay-silt particles that can not pass from No. 40 sieve by dry sieving method to the particles passing from No. 40 sieve)

Örnek No.	W_1	W_2	W_3	W_4 (W_2-W_3)	W_5 (W_1-W_3)	P_1 (%) (W_5/W_1)	P_2 (%) (W_4/W_5)	Fark*
3	275.7	180.8	15.5	165.3	260.2	94.4	63.5	7.8
2	199.5	124.0	29.7	94.3	169.8	85.1	55.5	5.3
11	150.8	74.1	26.2	47.9	124.6	82.6	38.4	3.6
18	386.1	72.2	11.5	60.7	374.6	97.0	16.2	0.6
26	356.4	72.6	27.1	45.5	329.3	92.4	13.8	0.3

Açıklamalar: W_1 : Elemeye tabi tutulan örneğin toplam kuru ağırlığı, W_2 : Kuru eleme sonunda 40 No.lu eleğin üzerinde kalan örnek ağırlığı, W_3 : Yıkama sonunda 40 no.lu eleğin üzerinde kalan örnek ağırlığı, W_4 : 0.425 mm'den küçük olduğu halde kuru eleme yoluyla 40 no.lu elekten geçemeyen tanelerin ağırlığı, W_5 : 40 no.lu elekten toplam geçen örnek ağırlığı, P_1 : 40 no.lu elekten toplam geçen yüzde, P_2 : 0.425 mm'den küçük olduğu halde kuru eleme yoluyla 40 no.lu elekten geçemeyen tanelerin, 40 no.lu elekten toplam geçen tanelere oranı.

*Standart ve standart-dışı yöntemle hazırlanmış örnekler üzerinde Casagrande yöntemiyle elde edilen likit limit değerleri arasındaki fark.

Bu durumda, zemin sınıfı CH iken CL veya MH iken ML olarak sınıflandırılabilir. Plastisite abağındaki yeri silt ile kili birbirinden ayıran A doğrusuna yakın olan zeminler ise, MH iken CH veya ML iken CL olarak sınıflandırılabilir.

Bu çalışmada, likit limit ve plastik limit değerleri arasında, örnek hazırlama yönteminden kaynaklanan farktan dolayı, zemin sınıfında değişiklik meydana geldiği saptanan örnekler Çizelge 4’de verilmiştir. Çizelge 4’de görülen 8 ve 26 no.lu örneklerin standart yöntemle elde edilmiş likit limit ve plastik limitleri kullanıldığında, plastisite abağı üzerindeki yeri A doğrusunun altında yer aldığından, bu örnekler silt olarak sınıflandırılmıştır (sırasıyla MH ve ML). Aynı örneklerin, standart-dışı yöntemle belirlenmiş likit limit ve plastik limitleri kullanıldığında ise plastisite abağı üzerindeki yeri A doğrusunun üstünde yer almış ve kil olarak sınıflandırılmıştır (sırasıyla CH ve CL). Çizelge 4’deki 12 ve 13 no.lu örneklerin ise, standart örnek hazırlama yöntemiyle elde edilmiş likit limitleri % 50’nin üstünde olduğu için yüksek plastisiteli (CH) olarak sınıflandırılmasına karşın, aynı örneklerin standart-dışı örnek hazırlama yöntemiyle elde edilmiş likit limitleri % 50’nin altına düştüğü için düşük plastisiteli (CL) olarak sınıflandırılmıştır.

5. SONUÇLAR (CONCLUSIONS)

30 adet doğal zemin örneği üzerinde yapılan deneyler, standart yöntemle hazırlanmış örneklerin likit limitlerinin, standart-dışı yöntemle hazırlanmış örneklerin likit limitlerinden, Casagrande yönteminde % 10’a, koni batma yönteminde ise % 8’e kadar daha yüksek olabileceğini göstermiştir. Bununla birlikte, örnek hazırlama yönteminin plastik limit üzerindeki etkisinin likit limite oranla daha az olduğu saptanmıştır. Standart yöntemle hazırlanmış örneklerin plastik limitlerinin, standart-dışı yöntemle hazırlanmış örneklerin plastik limitlerinden en fazla % 3 kadar daha yüksek olduğu belirlenmiştir. Likit limit ve plastik limit değerlerinde örnek hazırlama yönteminden kaynaklanan farkın, likit limiti %50’ye yakın olan yada plastisite abağı üzerindeki yeri A doğrusuna yakın olan zeminlerin USCS’ye göre belirlenen zemin sınıfının değişmesine de yol açabileceği saptanmıştır.

Bu çalışmanın sonucunda, ülkemizdeki bazı

laboratuvarlarda yaygın olarak takip edilen örnek hazırlama yöntemiyle belirlenmiş likit limit değerlerinin, ASTM D4318-00 ve BS 1377: Bölüm 2-1990’da tanımlanan örnek hazırlama yöntemiyle belirlenmiş likit limit değerlerinden daha düşük olduğu ortaya konulmuştur. Ancak, ASTM D4318-00 ve BS 1377: Bölüm 2-1990’da tanımlanan örnek hazırlama yöntemlerinin zahmetli ve zaman alıcı olduğu ve sonuçlar üzerindeki etkisinin de küçük olduğu dikkate alınacak olursa, pratik amaçlar için ülkemizde yaygın olarak takip edilen örnek hazırlama yönteminin uygulanabileceği düşünülmektedir. Fakat, söz konusu yöntemin herhangi bir standartta yer alması, uygulamacıları standart-dışı bir yöntemle başvurmayaya sevk etmektedir. Bu durumdan kurtulmak için, TS 1900’de örnek hazırlama yöntemlerinin daha detaylı bir şekilde tanımlanmasının ve ülkemizde yaygın olarak takip edilen örnek hazırlama yönteminin, alternatif bir yöntem olarak ulusal standardımız TS 1900’e dahil edilmesinin yararlı olacağı düşünülmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

1. Sivapullaiah, P.V., and Sridharan, A., “Liquid Limit of Soil Mixtures”, **Geotechnical Testing Journal**, Cilt 8, No.3, 111–116, 1985.
2. Casagrande, A., “Research on the Atterberg Limits of Soils”, **Public Roads**, Cilt 13, 121–130, 1932.
3. Casagrande, A., “Notes on the Design of the Liquid Limit Device”, **Géotechnique**, Cilt 8, No.2, 84–91, 1958.
4. Littleton, L., and Farmilo, M., “Some Observation on Liquid Limit Values with Reference to Penetration and Casagrande Tests”, **Ground Engineering**, Cilt 10, No.4, 39–40, 1977.
5. ASTM D 4318 (American Society for Testing and Materials), “Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils”, **Annual Book of ASTM Standards**, West Conshohocken, United States, 2000.
6. Leroueil, S., and Le Bihan, J.P., “Liquid Limits and Fall Cones”, **Canadian Geotechnical Journal**, Cilt 33, No.5, 793–798, 1996.
7. Sridharan, A., Nagaraj, H.B., and Prakash, K., “Determination of the Plasticity Index from Flow Index”, **Geotechnical Testing Journal**, Cilt 22,

Çizelge 4. Örnek hazırlama yönteminden dolayı zemin sınıfında değişiklik meydana gelen örnekler

(The samples classed in a different soil class due to sample preparation method)

Örnek No.	Standart yöntemle hazırlanmış				Standart dışı yöntemle hazırlanmış			
	W_L	W_P	PI	USCS	W_L	W_P	PI	USCS
8	58.8	31.1	27.7	MH	56.5	29.4	27.1	CH
12	54.1	25.1	29.0	CH	49.3	24.0	25.3	CL
13	51.5	26.9	24.6	CH	48.4	24.2	24.2	CL
26	36.8	24.9	11.9	ML	36.5	23.9	12.6	CL

Açıklamalar: W_L : Likit limit, W_P : plastik limit, PI:plastisite indisi, USCS: Birleştirilmiş Zemin Sınıflandırma Sistemine göre zemin sınıfı.

- No.2, 175–181, 1999.
8. Sridharan, A., and Nagaraj, H.B., “Absorbion Water Content and Liquid Limit of Soils”, **Geotechnical Testing Journal**, Cilt 22, No.2, 121–127, 1999.
 9. BS 1377: Part 2 (British Standard), “Liquid Limit–Cone Penetrometer Method”, **British Standard Institution, London**, UK, 1990.
 10. Terzaghi, K., and Peck, R.B., **Soil Mechanics in Engineering Practice**. 2nd edition. John Wiley and Sons, Inc., New York, 1967.
 11. Sherwood, P.T., and Ryley, M.D., “An investigation for a Cone-Penetrometer Method for the Determination of the Liquid Limit”, **Géotechnique**, Cilt 20, No.2, 203–208, 1970.
 12. Wasti, Y., and Bezirci, M.H., “Determination of the Consistency Limits of Soils by the Fall Cone Test”, **Canadian Geotechnical Journal**, Cilt 23, No.2, 241–246, 1986.
 13. Budhu, M., “The Effect of Clay Content on Liquid Limit from a Fall Cone and British Cup Device”, **Geotechnical Testing Journal**, Cilt 8, No.2, 91–95, 1985.
 14. Sridharan, A., and Prakash, K., “Percussion and Cone Methods of Determining the Liquid Limit of Soils: Controlling Mechanisms”, **Geotechnical Testing Journal**, Cilt 23, No.2, 236–244, 2000.
 15. Škopek, J., and Ter-Stepanian, G., “Comparison of Liquid Limit Values Determined according to Casagrande and Vasilev”, **Géotechnique**, Cilt 25, No.1, 135–136, 1975.
 16. TS 1900-1, “İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri – Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini”, **Türk Standartları**, Bakanlıklar, Ankara, 2006.
 17. ASTM E 691 (American Society for Testing and Materials), “Standard Practice for Conducting an Interlaboratory Study to Determine the Precision of a Test Method”, **Annual Book of ASTM Standards**, West Conshohocken, United States, 2005.