

## Zeminlerin Likit Limitinin Tek Nokta Koni Batma Yöntemiyle Belirlenmesi

*Determination of Liquid Limit of Soils Using One Point Fall Cone Method*

**Nihat DİPOVA**

*Akdeniz Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Kampüs, ANTALYA*

### ÖZ

Likit limit, zeminlerin önemli tanımlama parametrelerinden biri olup Casagrande ve koni batma olmak üzere 2 standart yöntemle belirlenir. Koni batma yöntemi ile likit limit belirlenmesi konik uçlu bir metalin hazırlanan homojen bir zemin çamuru içine kendi ağırlığı ile batırılması esasına dayanır. Casagrande yöntemine göre daha az operatör bağımlı olması ve daha kesin sonuçlar vermesine rağmen, koni batma yöntemi ile çok sayıda deney yapılması gerektiğinde TS 1900 de öngörülen 4 deney yöntemi çok zaman almaktadır. Bu çalışmada 138 adet kil örneği üzerinde koni batması yöntemiyle likit limit deneyi yapılmış ve deney sonuçları istatistiksel yöntemlerle incelenerek tek nokta ile likit limitin belirlenmesi konusu araştırılmıştır. Yapılan deneysel ve istatistiksel çalışmalar sonucunda likit limitin tek nokta koni batma deneyinden elde edilmesine yönelik 3 adet görgül eşitlik elde edilmiş ve bunlardan “ $LL = W / (0.33 * (P/20) + 0.66)$ ” eşitliğinin en güvenilir sonucu verdiği anlaşılmıştır. 4 nokta deney yapıldığında deneyde yapılan hatalar eğilim doğrusu çizilmesi suretiyle paylaşıldığından, bulunan LL değerine daha az yansımaktadır. Ancak tek nokta yönteminde yapılan hatalar doğrudan LL değerine yansıtacağından, tek nokta yönteminde deneyle ilgili tüm ayrıntılara daha fazla özen gösterilmelidir. Likit limitin koni batma yöntemi ile belirlenmesi Türk Standartları’nda önerilen yöntem olmasına rağmen, tek nokta deney konusundan bahsedilmemektedir. Diğer ülkelerin standartlarında olduğu gibi Türk standartlarında da tek nokta yöntemine yer verilmesinin yerinde olacağı düşünülmektedir.

**Anahtar Kelimeler:** Kıvam limitleri, Koni batma, Likit limit, Tek nokta.

### ABSTRACT

*Liquid limit is one of the important soil index parameters and it is determined by means of two standard methods; Casagrande and fall-cone methods. Determination of liquid limit by fall-cone is based on penetration of cone shaped metal object into a homogeneously prepared soil mud with free fall. Even though it is less operator dependent and it gives more accurate results, compared to the Casagrande method, standard 4 point fall-cone method as imposed in TS 1900, takes long time when too many samples are to be tested for identification purposes. In this study 138 clay samples were tested with fall-cone method, test results were evaluated statistically and determination of liquid limit by means of one point fall-cone was investigated. After the experimental and statistical studies, 3 empirical equations were developed and “ $LL = W / (0.33 * (P/20) + 0.66)$ ” equation seemed to be more reliable. Faults to happen*

during the application of standard 4 point method are reflected on the graph and after drawing a trend line, these faults will be distributed along the trend line. However in the one point method faults will be reflected directly on a single liquid limit value. Therefore, in one point method, test procedure should be obeyed carefully. Although the fall-cone liquid limit test method is proposed method in Turkish Standards, one point method is not mentioned. As in the standards of other countries, it is thought to be appropriate that Turkish Standards include one point fall-cone method.

**Key Words:** Consistency limits, Fall cone, Liquid limit, One point.

## GİRİŞ

Zeminler için 5 ayrı kıvam limiti (kohezyon limiti, yapışma limiti, büzülme limiti, plastik limit ve likit limit) ilk kez 1911’de Atterberg tarafından tanımlanmıştır. Bu kıvam limitlerinden likit limit (LL) zeminlerin önemli indeks parametrelerinden birisini oluşturmaktadır. Bir mühendislik parametresi olarak likit limitin deneysel olarak belirlenmesi Casagrande (1932) tarafından gerçekleştirilmiştir. Casagrande’nin bu amaçla geliştirmiş olduğu cihaz, günümüzde de kullanılmaktadır (TS 1900, ASTM D 4318, BS 1377). Bir zeminin Casagrande yöntemiyle belirlenen likit limiti, deney düzeneğindeki düşürme levhasının cinsine, operatörün performansına, oluk açma bıçağı ile ayrılan parçaların birlikte kayma eğilimine ve zemin türüne bağlı olarak geniş bir aralıkta değişim göstermektedir (Johnston ve Strohm, 1968; Wroth ve Wood, 1978; Whyte, 1982; Lee ve Freeman, 2007). Bu nedenle, deney uygulamasının zorluğunun yanı sıra, deney sonucunda elde edilen grafiğin regresyon katsayısı çoğu zaman düşük çıkmaktadır. Alternatif yöntem olarak “koni batma (penetrasyon) yöntemi” geliştirilmiştir. Koni batma yöntemi Casagrande yöntemine göre daha kolay olmasının yanı sıra daha az operatör bağımlı bir yöntemdir. İngiltere, Hindistan, İsveç ve Kanada’da olduğu gibi Türkiye’nin zemin mekaniği laboratuvar deneyleri ile ilgili standardı TS 1900 (TSE, 1987)’de de koni batma yöntemi “önerilen metot”, Casagrande yöntemi ise “yedek

metot” olarak yer almaktadır. Ölçüm mekanizmaları birbirinden farklı olduğundan, bazı araştırmacılar (Wasti ve Bezirci, 1986; Sridharan ve Nagaraj, 1999; Sridharan vd., 1999; Mendoza ve Orozco, 2001; Orhan vd., 2006) Casagrande cihazı ve koni batma yöntemi kullanarak elde ettikleri likit limit sonuçlarını karşılaştırmışlardır. Likit limit değeri yaklaşık 100’e kadar her iki yöntem arasındaki fark çok fazla değilken, likit limit değeri % 100’ün üzerine çıktığında Casagrande yöntemi belirgin bir şekilde koni yöntemine göre yüksek sonuçlar vermektedir. Standard yöntem olarak kullanılan bu 2 yöntem alternatif olarak Kayabalı ve Tüfenççi (2010) çapı 38 mm olan hazne ile ortasındaki deliğin çapı 6 mm olan pistondan oluşan bir düzenek ile gerçekleştirilen ters ekstrüzyon yöntemini geliştirmişlerdir. Bu deneyde likit limit, 38 mm çapındaki hazne ile 6 mm delikli pistondan oluşan ters ekstrüzyon deney düzeneğinde 30 kPa gerilme altında akma gözlenen zeminin su içeriği olarak tanımlanmıştır.

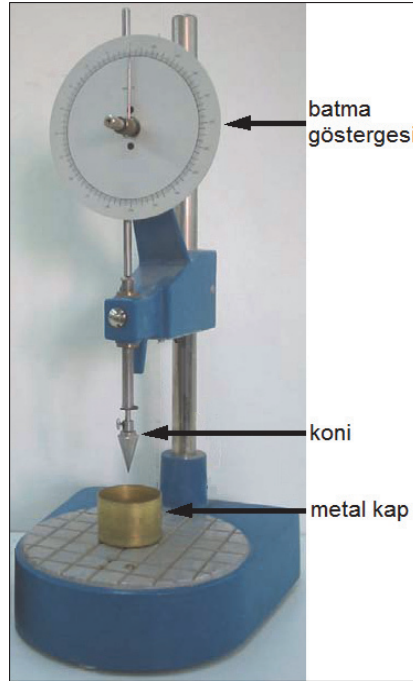
Casagrande yönteminde 4 nokta elde etmek için deneyin 4 kez tekrarlanması zaman kaybına neden olduğundan likit limitin tek nokta ile belirlenmesi araştırmalara konu olmuştur. “ $LL=W.(N/25)^{\tan\beta}$ ” eşitliğindeki “ $\tan\beta$ ” değerini Olmstead ve Johnston (1955) 0.135, Norman (1959) 0.092, Eden (1960) 0.108 olarak belirlemişlerdir. Casagrande yöntemine göre daha kolay olmasına rağmen, koni batma yöntemi ile çok sayıda deney yapılması

gerektiğinde 4 deney yöntemi çok zaman almaktadır. Bu çalışmada 138 adet kil örneği üzerinde koni batması yöntemiyle yapılmış likit limit deneyi sonuçları istatistiksel yöntemlerle incelenerek tek nokta deney ile likit limitin belirlenmesi konusu araştırılmıştır.

## KONİ BATMA YÖNTEMİ

Koni batma yöntemi ile likit limit belirlenmesi konik uçlu bir metalin kendi ağırlığı ile önceden belirli bir su içeriğinde hazırlanan homojen zemin çamuru içine batırılması esasına dayanır (Şekil 1). Zeminin su içeriği ile batma derinliği arasında ters ilişki vardır. Dünyada değişik özelliklerde koniler kullanılmakta olup,

bunlardan birisi “İsveç konisi” olarak bilinen tepe açısı  $60^\circ$  ve ağırlığı 60 g olan ve 10 mm batmanın likit limite karşılık geldiği konidir. Bir diğeri “İngiliz konisi” olarak bilinen tepe açısı  $30^\circ$ , ağırlığı 80 g olan ve 20 mm batmanın likit limite karşılık geldiği konidir. Çin’de  $30^\circ/76$  g koni kullanılmakta ve 17 mm batma likit limite karşılık gelmekte, Bulgaristan, Yugoslavya ve Rusya’da yine  $30^\circ/76$  g koni kullanılmakta ancak 20 mm batma likit limite karşılık gelmekte, Fransa’da ise İngiliz konisi ( $30^\circ/80$  g) kullanılmakta, ancak 17 mm batma likit limite karşılık gelmektedir (Leroueil ve Le Bihan, 1996). Ülkemizde TS 1900 (TSE, 1987)’de öngörülen koni, tepe açısı  $30^\circ$ , ağırlığı 80 g olan koni tipidir.



Şekil 1. Koni batma deney düzeneği

Figure 1. Fall cone apparatus.

TS 1900 (TSE, 1987) 'e göre 400 mikronluk elekten geçirilmiş 200 g numune cam plaka üzerinde palet bıçaklar (spatula) kullanılarak suyla çamur haline getirilir. Hazırlanan homojen çamur metal deney kabına içinde hava kabarcığı kalmayacak şekilde sıkıca yerleştirildikten sonra yüzeyi çelik cetvelle düzlenir ve penetrometre tabanına yerleştirilir. Zeminin hemen tümünün 400 mikronluk elekten geçeceğinin görüldüğü durumlarda, iri taneler karıştırma sırasında elle ayıklanarak, deney doğal su içeriğinde yapılabilir. Koninin zemine batması için 5 sn süreyle koni serbest düşmeye bırakılır ve bu süre sonunda batma miktarı ölçülür. Batan koni çevresinden örnek alınarak zeminin su içeriği belirlenir. Bu işlem artan su içerikleri için 4 kez tekrarlanır. 4 deney için batmaya karşı su içeriği grafiği oluşturulur ve 4 noktanın doğrusal eğilim çizgisi çizilir. Bu eğilim çizgisinde 20 mm batmaya karşılık gelen su içeriği zeminin likit limiti olarak kabul edilir. Yapılan deneyin kalitesi deney eğrisinin regresyon eğrisine yansımaktadır. Kaliteli bir deneyde  $R^2$  değerinin 1'e yakın olması gerekir. Deneyde kaliteyi artırmak için bazı hususlara dikkat edilmesi gerekir. Karışımın homojen olması için çamur yeterince karıştırılmalıdır. Homojenliğin kontrolü karışımda kıvam farkı ve renk farkı olmaması ile sağlanır. Koni ve deney kabının her

denemeden sonra temizlenmesi ve kurulanması gerekir. Her bir denemede çamurun su içeriği, penetrasyon değerlerinin 15 ile 25 mm arasında olacağı biçimde ayarlanmalı ve deney kurudan ıslak karışıma doğru yürütülmelidir.

Koni batma yönteminin Casagrande yöntemine göre avantajları olmakla birlikte, özellikle büyük projelerde tanımlama amaçlı çok sayıda deney yapılması gerektiğinde 4 deney yöntemi çok zaman almaktadır. Bu nedenle bazı araştırmacılar tarafından (Clayton and Jukes, 1978; Nagaraj ve Jayadeva, 1981; Federico, 1983; Leroueil ve Le Bihan, 1996) yalnızca bir deney yapılarak likit limitin belirlenmesi araştırılmıştır. Clayton ve Jukes (1978) çalışması sonucunda elde edilen düzeltme katsayısına dayalı yöntem İngiliz Standardları'nda (BS 1990, BS:1377), Nagaraj ve Jayadeva (1981) yöntemi ise Hindistan Standardları'nda (IS 1983, IS:2720) yer almıştır. Kanada Standartları'nda da tek deney likit limit yöntemi bulunmaktadır (CAN/BNQ, 1986). Clayton and Jukes (1978) yöntemi 15-25 arasındaki penetrasyon değerlerine karşılık gelen su içeriklerinin 0.909-1.098 arasında değişen düzeltme katsayıları ile çarpımına dayanan amprik bir yaklaşımdır. Diğer çalışmalarda ise istatistiksel analizler yardımı ile Çizelge 1'de verilen tahmin eşitlikleri üretilmiştir.

Çizelge 1. Likit Limitin (LL) tek nokta koni batma deneyi ile belirlenmesi için literatürde önerilen eşitlikler

Table 1. Equations given in the literature for determination of liquid limit (LL) by means of one point fall cone.

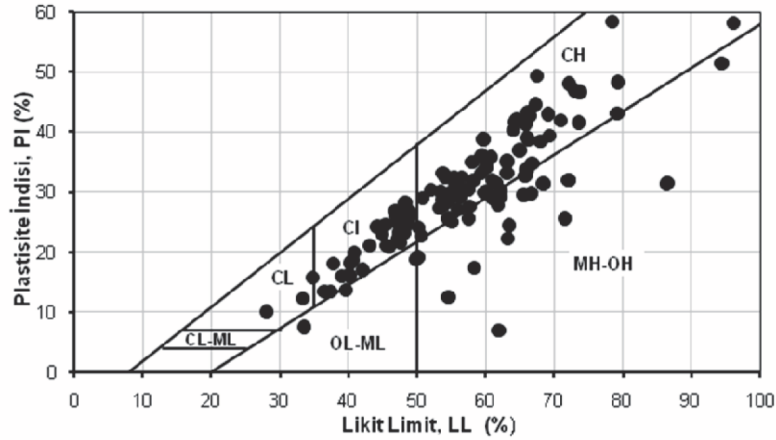
Nagaraj ve Jayadeva (1981)	$LL=W/(0.65+0.0175*P)$
Federico (1983)	$LL=W/(0.102+0.688*LogP)$
Leroueil ve Le Bihan (1996)	$LL=(40*(W-15)/(P+20))+15$
IS 2720 (1983)	$LL=W/(0.77*LogP)$

P=Batma derinliği (mm), W=Su içeriği (%)

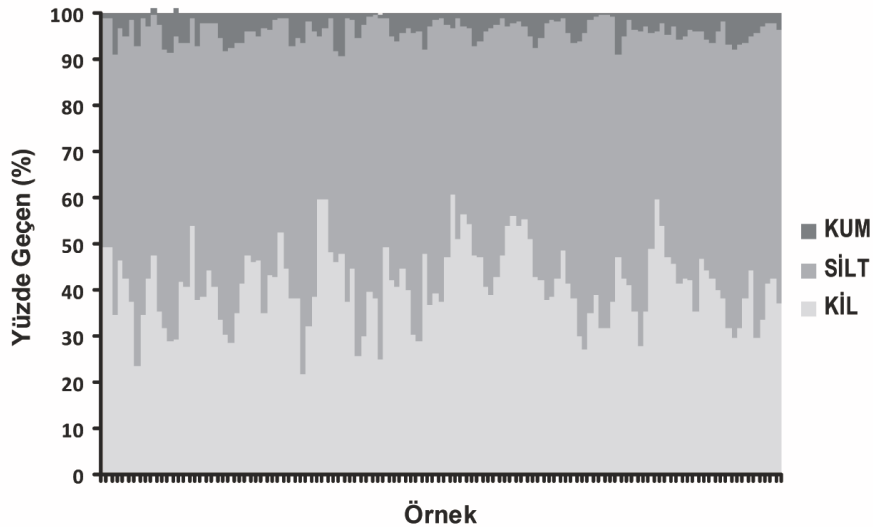
## DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Çalışma kapsamında yapılan deneylerde kullanılan zemin örnekleri çoğunlukla orta ve yüksek plastisiteli kil özelliğinde olup az miktarda düşük plastisiteli ve organik içerikli

zeminler de bulunmaktadır. Toplam 138 adet zemin örneği Antalya ilçeleri olan Korkuteli, Manavgat, Konyaaltı, Muratpaşa ve Alanya'dan alınmıştır. Örneklere ait plastisite ve tane boyu özellikleri Şekil 2'de sunulmaktadır.



a)



b)

Şekil 2. Deneylerde kullanılan zemin örneklerinin kıvam (a) ve tane boyu (b) özellikleri.

Figure 2. (a) Consistency, and (b) grain size properties of the soil samples which were used in the tests.

Araştırma kapsamında yapılan deneyler TS 1900'de öngörülen yöntemle göre koni tepe açısı 30°, ağırlığı 80 g olan koni kullanılarak 4 nokta belirlenmesi esasına dayalı olarak yapılmıştır. Deney örnekleri havada kurutulup 400 mikronluk elekten elendikten sonra damıtık su kullanılarak tekrar çamur haline getirilmiştir. İlgili standarda deneylerde batma değerlerinin 15-25 mm arasında kalması öngörülmesine rağmen, batma miktarı değişkeninin deney sonuçlarına etkisinin anlaşılması amacıyla daha geniş aralıkta batma değerleri (10-30 mm) uygulanmıştır. Batma değerlerine karşılık gelen su içerikleri koninin battığı bölgeden küçük bir örnek alınıp 105°C'lik etüvde 24 saat kurutulması ile belirlenmiştir. Deney sonuçları bir işlem sayfasında depolanarak değişkenler arası ilişkiler istatistiksel yöntemlerle araştırılmış ve görgül tahmin eşitlikleri üretilmiştir.

### İSTATİSTİKSEL ÇALIŞMALAR

4 nokta yöntemiyle yapılan tekil deney sonuçları incelendiğinde, her bir deney için su içeriği-batma (W-P) grafiğinin eğilim çizgisinin doğrusal olduğu ve regresyon katsayılarının  $R^2=0.99$  civarında olduğu anlaşılmıştır. Ayrıca deneylere ait eğilim çizgilerinin eğiminin benzerlik gösterdiği fark edilmektedir (Şekil 3). Her bir deney için deney doğrusunun denklemi;

$$W=a*P+b \quad (1)$$

olarak yazılabilir. Bu durumda  $P=20$  mm için su içeriğini tahmin ederek likit limiti (LL) belirlemek mümkün olacaktır.

$$LL=W+(20-P)*a \quad (2)$$

LL: Likit limit

P : Batma derinliği (mm)

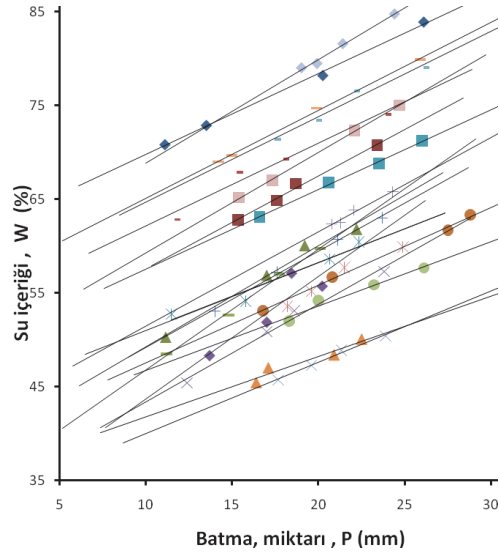
W : Su içeriği (%)

a : Eğilim doğrusunun eğimi

Eşitlik 2'nin çözümü için "a" eğiminin tahmini gerekmektedir. Bu değer belirlenmesi için teorik ya da ampirik yollar denenmiş ancak anlamlı bir ilişki bulunamamıştır. Alternatif bir yol izlenerek tüm deneylere ait a değerleri bir histogram yardımı ile incelenmiştir. Şekil 4 te gösterilen histograma göre en yüksek yüzde frekans  $a=0.8$  değerinde elde edilmiştir. Aritmetik ortalama ise  $a=0.93$  tür. Her iki a değeri için LL değerleri tahmin edilmiş ve ölçülen LL değerleri ile karşılaştırılmıştır. Aritmetik ortalama kullanılarak hesaplanan LL değerleri ölçülen değerlere daha yakın olduğundan,  $a=0.93$  olarak alınabileceği görülmüştür. Bu durumda eşitlik 2, eşitlik 3'e dönüşür.

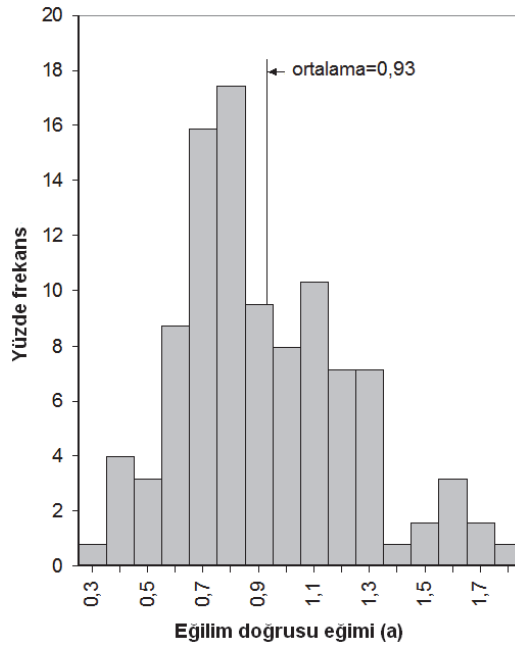
$$LL=W+(20-P)*0.93 \quad (3)$$

Eşitlik 3 kullanılarak tahmin edilen likit limit değerlerine karşılık doğrudan ölçülen likit limit değerleri Şekil 5a' daki grafikte gösterilmektedir. Her bir deney düşünüldüğünde batma (P) değeri 20 ye yaklaştıkça tahmin edilen ve ölçülen değerler arasındaki fark azalmakta, batma değeri 20 den uzaklaştıkça fark da artmaktadır. Bu durum tahmin edilen değerlerin yüzde hata değerlerinin hesaplanması ve bir histogramda gösterilmesi ile araştırılmıştır (Şekil 5b). Tahmin edilen değerlerin tümü için yüzde hata standart sapması = 3.06, aritmetik ortalaması = 0.31'dir.



Şekil 3. Standard 4 nokta koni batma yöntemi ile elde edilen W-P grafikleri.

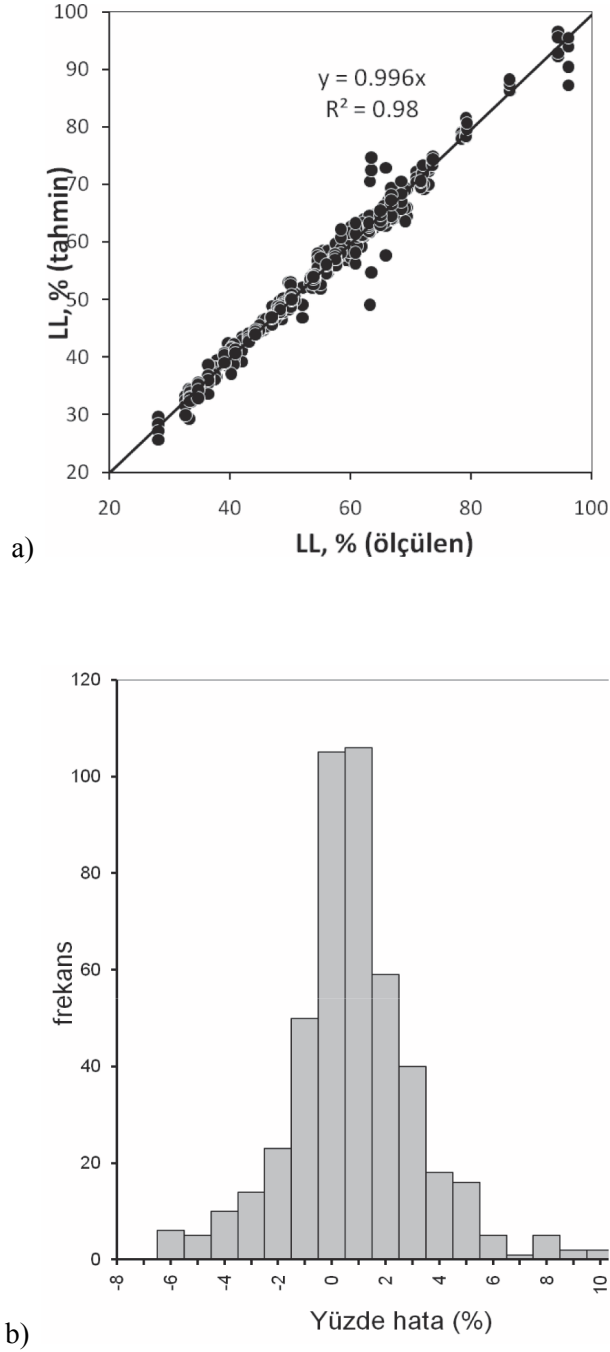
Figure 3. W-P graphs obtained after standard 4 point fall cone method.



Şekil 4. Eğilim doğrusu eğimlerinin (a) histogramı

Figure 4. The histogram of slopes (a) of trend lines.

Dipova



Şekil 5. a) Eşitlik 3 kullanılarak tahmin edilen likit limit değerlerinin ölçülen değerlerle karşılaştırması, b) Tahmin edilen değerlerin ölçülenlere göre yüzde hata dağılımı (Standart sapma = 3.06, Aritmetik ortalama = 0.31).

Figure 5. a) Comparison between measured and estimated (using equation 3) liquid limit values, b) Distribution of percent differences between liquid limits which are measured and estimated (Standard deviation = 3.06, Arithmetical mean = 0.31).



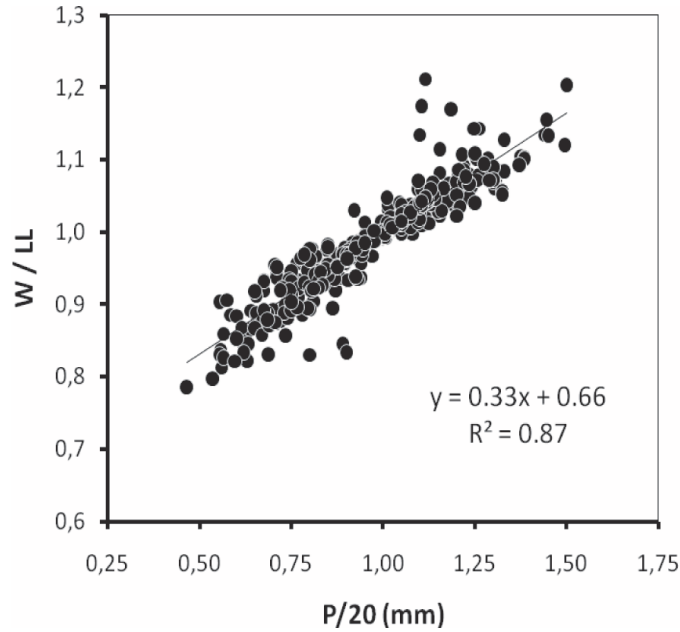
Deney sonuçlarının analizinden, her bir deneyde su içeriği değerlerinin likit limit ile normalize edilmiş halinin (W/LL) batma derinliğinin standart batma değerine oranı (P/20) ile ilişki içinde olduğu ( $R^2 = \% 87$ ) görülmektedir (Şekil 6). Bu ilişkinin denklemi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$W/LL = 0.33*(P/20) + 0.66 \quad (4)$$

Buradan da zeminin likit limiti tek nokta verisinden:

$$LL = W / (0.33*(P/20) + 0.66) \quad (5)$$

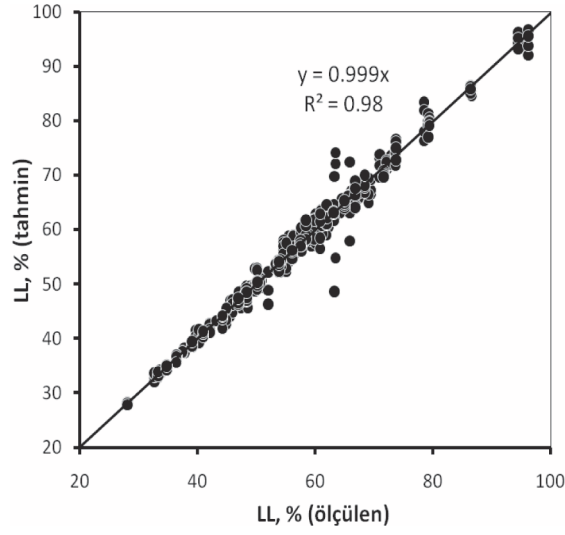
olarak elde edilebilir. Eşitlik 5 kullanılarak tahmin edilen likit limit değerlerine karşılık doğrudan ölçülen likit limit değerleri Şekil 7a'daki grafikte gösterilmektedir. Tahmin edilen ve ölçülen değerler arasındaki fark yüzde hata değerlerinin hesaplanması ve bir histogramda gösterilmesi ile araştırılmıştır (Şekil 7b). Tahmin edilen değerlerin tümü için standart sapma = 2.74, aritmetik ortalama = 0.055'tir.



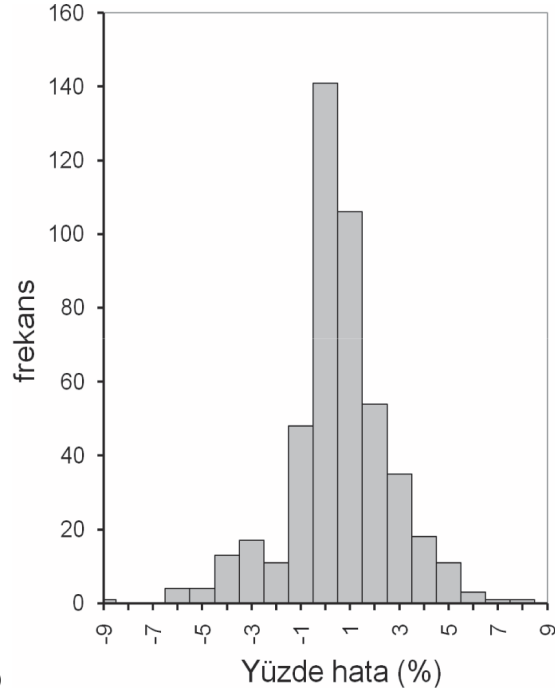
Şekil 6. W/LL - P/20 grafiği.

Figure 6. Relationship between (W/LL) and (P/20).

Dipova



a)



b)

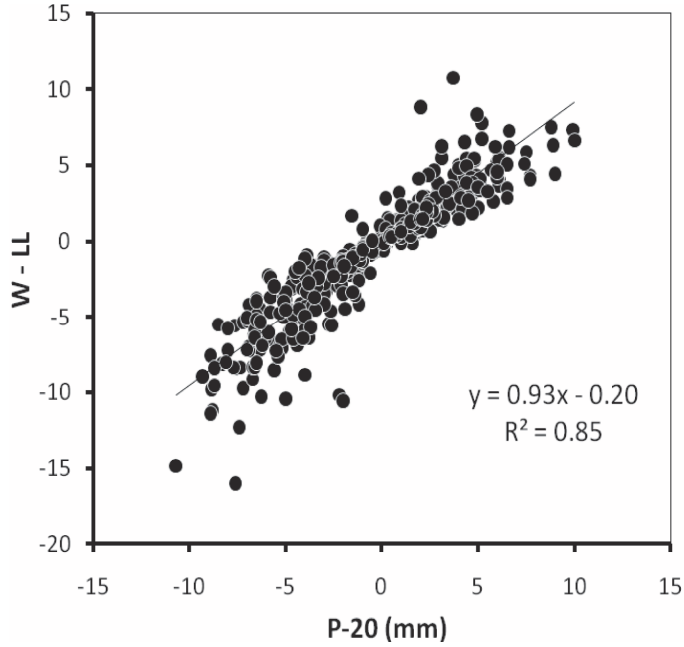
Şekil 7. a) Eşitlik 5 kullanılarak tahmin edilen likit limit değerlerinin ölçülen değerlerle karşılaştırması, b) Tahmin edilen değerlerin ölçülenlere göre yüzde hata histogramı (Standard sapma=2.74, Aritmetik ortalama=0.055).

Figure 7. a) Comparison between measured and estimated (using equation 5) liquid limit values, b) Distribution of percent differences between liquid limits which are measured and estimated (Standard deviation=2.74, Arithmetical mean=0.055).

Deney sonuçlarından elde edilen bir diğer ilişki ise (W-LL) ve (P-20) arasında kurulmuş ve bu ilişki Şekil 8’ deki grafikte gösterilmiştir. Bu ilişkiden de likit limit aşağıdaki eşitlikle belirlenebilir.

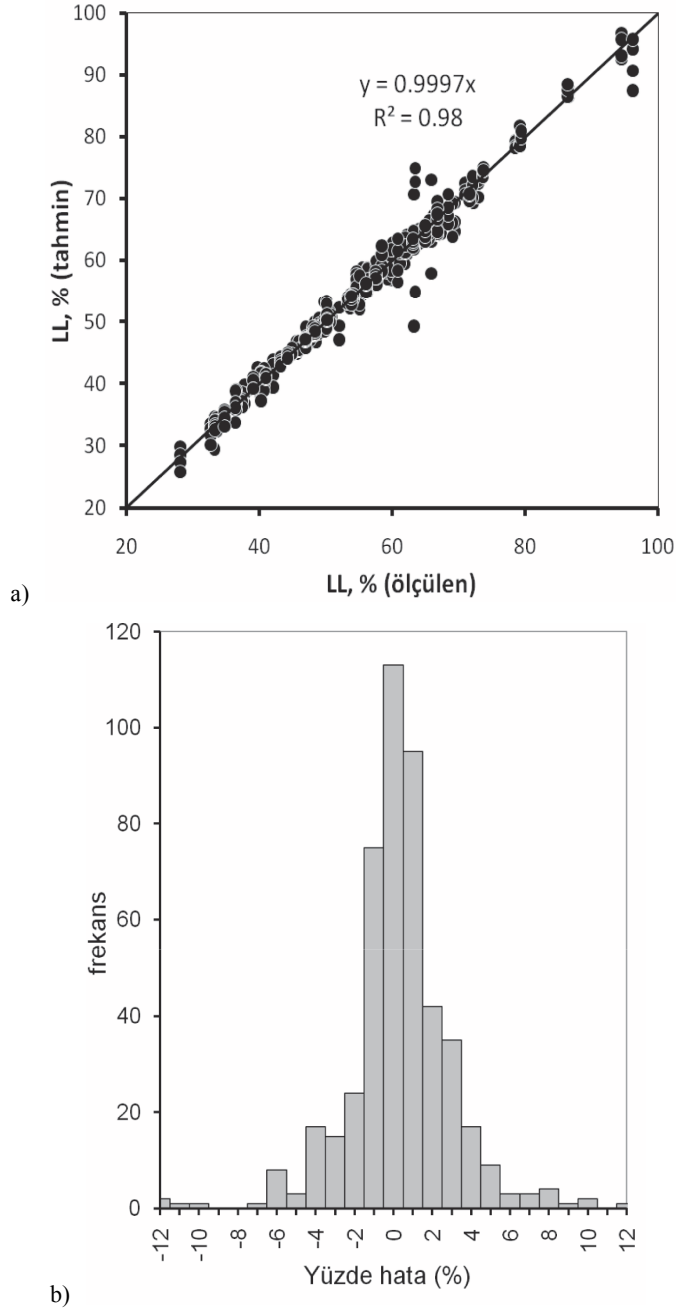
$$LL = W - (0.93 * (P - 20)) - 0.20 \quad (6)$$

Tahmin edilen ve ölçülen değerler arasındaki farkın yüzde hata değerleri analiz edilmiş ve sonuçlar Şekil 9’da sunulmuştur (Standard sapma = 3.07, Aritmetik ortalama = -0.077).



Şekil 8. (W-LL) ve (P-20) arası ilişki.

Figure 8. Relationship between (W-LL) and (P-20).



Şekil 9. a) Eşitlik 6 kullanılarak tahmin edilen likit limit değerlerinin ölçülen değerlerle karşılaştırması, b) Tahmin edilen değerlerin ölçülenlere göre yüzde hata histogramı (Standard sapma=3.07, Aritmetik ortalama=-0.077).

Figure 9. a) Comparison between measured and estimated (using equation 6) liquid limit values, b) Distribution of percent differences between liquid limits which are measured and estimated (Standard deviation=3.07, Arithmetical mean=-0.077).

## SONUÇLAR

Zeminlerin likit limitinin belirlenmesinde koni batma yöntemi Casagrande yöntemine göre daha az operatör bağımlı olması ve daha kesin sonuçlar vermesi nedenlerinden ötürü daha fazla tercih edilmektedir. Ancak özellikle kısa sürede çok sayıda deney yapılması gerektiğinde TS 1900 de öngörülen 4 deney yöntemi çok zaman

almaktadır. Bu nedenle, bu çalışmada, yalnızca bir deney yapılarak bulunan su içeriği ve buna karşılık gelen batma derinliği kullanılarak likit limitin belirlenmesi araştırılmıştır.

Yapılan deneysel ve istatistiksel çalışmalar sonucunda likit limitin tek nokta koni batma deneyinden elde edilmesine yönelik 3 adet görgül eşitlik elde edilmiştir (Çizelge 2).

Çizelge 2. Deneysel ve istatistiksel çalışmalar sonucunda belirlenen görgül eşitlikler.

Table 2. Empirical equations driven after experimental and statistical studies.

	Eşitlik	Ortalama yüzde hata	Standard sapma
1	$LL=W+((20-P)*0.93)$	0.31	3.06
2	$LL= W/(0.33*(P/20)+0.66)$	0.055	2.74
3	$LL= W-(0.93*(P-20)-0.20)$	-0.077	3.07

Çizelge 2'deki 2 numaralı eşitlik diğerlerine göre daha düşük ortalama hata ve standart sapmaya sahiptir. Ortalama yüzde hata kabul edilebilir bir değerdir. Standard sapma değerindeki yükseklik ise batma değerinin geniş aralıkta seçilmiş olmasından kaynaklanmaktadır. Yüzde hata değerleri TS 1900 de önerilen P=15-25 değerlerinin dışındaki değerler ayıklanarak tekrar analiz edildiğinde standart sapma değerinin 1.62'ye düştüğü görülmektedir. Bu nedenlerle Çizelge 2'deki 2 numaralı eşitlik, tek nokta deney ile likit limit belirlenmesi için önerilmektedir.

Koni batma yöntemi, hazırlanan çamurun homojenliğinden ve kabın ve koninin temiz ve kuru olmasından etkilenmektedir. 4 nokta deney

yapıldığında deneyde yapılan hatalar grafiğe yansımakta ve eğilim çizgisinin regresyon katsayısı düşük çıkmaktadır. Bu durumda deney tekrar yapılmakta veya eğilim doğrusu çizilmesi suretiyle hata paylaştırıldığından LL değerine bu hata az yansımaktadır. Ancak tek nokta yönteminde yapılan hatalar doğrudan belirlenen LL değerine yansımaktadır. Bu nedenle tek nokta yönteminde deneyin yapılışı ile ilgili ayrıntılara daha fazla özen gösterilmelidir.

Likit limitin koni batma yöntemi ile belirlenmesi Türk standartlarında (TS 1900) öncelikli yöntem olmasına rağmen, bunun tek nokta deney ile yapılması konusundan bahsedilmemektedir. Diğer ülkelerin standartlarında olduğu gibi Türk Standartları'nda da tek nokta

yöntemine yer verilmesinin yerinde olacağı düşünülmektedir.

## KAYNAKLAR

- ASTM, 2000. ASTM D 4318 (American Society of Testing and Materials), Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit and Plasticity Index of Soils, Annual Book of ASTM Standarts.
- BS, 1990. BS 1377: Part 2:4.3 (British Standard Institution), Liquid Limit-Cone Penetrometer Method, England.
- CAN/BNQ, 1986. Soils-Determination of Liquid Limit by the Fall Cone Penetrometer Method and Determination of Plastic Limit. Canadian Standards Association and Bureau de normalisation du Quebec, CAN/BNQ 2501-092-M-86.
- Casagrande, A., 1932. Research on the Atterberg limits of soils. Public Roads, 13 (3), 121-136.
- Clayton, C.R.I., Jukes, A.W., 1978. A One-Point Cone Penetrometer Liquid Limit Test, Geotechnique, 28 (4), 469-472.
- Eden, W.J., 1960. Use of a one - point liquid limit procedure, NRC 5599, National Research Council, Canada, Division Of Building Research.
- Federico, A., 1983. Relationships (Cu-w) and (Cu- $\delta$ ) for remolded clayey soils at high water content. Riv. Ital. Geotec., XVII (1), 38-41.
- IS, 1983. IS 2720 Part 5, Indian Standard Code for determination of liquid limit and plastic limit of soils. Bureau of Indian standards, New Delhi.
- Johnston, M. M., Strohm, W. E., 1968. Results of second division laboratory testing program on standard soil samples, Misc. Paper 3-978, U.S. Army Engineer Waterways Experiment Station Vicksburg, Mississippi, USA.
- Kayabalı, K., Tüfenççi, O.O., 2010. Determination of Plastic and Liquid Limits Using the Reverse Extrusion Technique, Geotechnical Testing Journal (GTJ), 33 (1), 14-22.
- Lee, L.T., Freeman, R. B., 2007. An alternative test method for assessing consistency limits, Geotechnical Testing Journal, 30 (4), 1-8.
- Leroueil, S., Le Bihan, J. P., 1996. Liquid Limits and Fall Cones, Canadian Geotechnical Journal, 33, 793-798.
- Mendoza, M.J., Orozco, M., 2001. Quick and Reliable Procedure for Liquid Limit Determination of Fine-Grained Soils, Geotechnical Testing Journal, 24 (1), 103-108.
- Nagaraj, T.S., Jayadeva, M.S., 1981. Re-examination of one-point methods of liquid limit determination. Geotechnique, 31 (3), 413-425.
- Norman, L. E. J., 1959. The One-Point Method of Determining the Value of the Liquid Limit of a Soil, Geotechnique, 9 (1), 1-8.
- Olmstead F.R., Johnston C.M., 1955. Rapid Methods for Determining Liquid Limits of Soils, Bulletin 95, p.27, Highway Research Board, Washington.
- Orhan M., Özer M., Işık, N.S., 2006. Doğal zeminlerin likit limitinin belirlenmesinde Casagrande ve koni batma yöntemlerinin karşılaştırılması, Gazi Üniv. Müh. Mim. Fak. Dergisi, 21 (4), 711-720.
- Sridharan, A., Nagaraj, H.B., 1999. Absorption Water Content and Liquid Limit of Soils, Geotechnical Testing Journal, 22 ( 2), 127-133.
- Sridharan, A., Nagaraj, H. B., Prakash, K., 1999. Determination of the Plasticity Index from Flow Index, Geotechnical Testing Journal, 22 (2), 175-181.
- TSE, 1987. TS 1900 (Türk Standartları), İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri, TSE, Bakanlıklar, Ankara, 1987, 133 sayfa.
- Wasti, Y., Bezirci, M.H., 1986. Determination of the Consistency Limits of Soils by the Fall Cone Test, Canadian Geotechnical Journal, 23, 241-246.

Whyte, I. L., 1982. Soil plasticity and strength – a new approach for using extrusion, *Ground Engineering*, 15 (1), 16-24.

Wroth, C.P., Wood, D.M., 1978. The Correlation of Index Properties with Some Basic Engineering Properties of Soils. *Canadian Geotechnical Journal*, 15 (2), 137-145.

Dipova