

Boşluk Oranının Farklı Siltlerin Likit Limit Değerleri üzerindeki Etkisi

Effect of Void Ratio on Liquid Limit Values of Various Silts

Eren Komurlu^{1*}, Atila Gurhan Celik¹

¹ Giresun Üniversitesi İnşaat Mühendisliği Bölümü, Giresun, Türkiye

* Sorumlu yazar, e-mail: ekomurlu@giresun.edu.tr

Özet

Bu çalışmada farklı silt türü zeminlerin likit limit değerleri Casagrande ve koni penetrometre deneyleri ile farklı boşluk oranı değerleri için belirlenmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, zeminlerin boşluk oranının likit limit değerleri üzerinde önemli ölçüde etkiye sahip olduğu görülmüştür. Boşluk oranı etkisi ve operatöre bağımlı etkinin minimize edilmesi için koni penetrasyon deneyinin Casagrande deneyine kıyasla avantajlı olduğu belirlenmiştir. Boşluk oranı ve likit limit değerleri arasındaki ilişki zeminlere göre farklılık göstermektedir. Bu sebeple boşluk oranı değişime bağlı likit limit değerinin kestirimine yönelik genel bir bağıntının kullanımı önerilmemiştir. Bunun yerine, boşluk oranındaki değişim için zeminlerin ayrı olarak test edilmesi önerilmiştir.

Anahtar kelimeler

Likit limit, Atterberg limitleri, Boşluk oranı, Zemin sınıflama, Zemin testleri

Abstract

The liquid limits of different types of silts were determined under varying void ratio conditions by carrying out the cone penetrometer and the Casagrande tests. According to the results obtained from this study, the void ratio was determined to have a notable effect on the liquid limit values of soils. In terms of eliminating the void ratio effect based and operator dependent variations of results, the cone penetrometer test was assessed to be advantageous in comparison with the Casagrande test. The liquid limit values of soils were found to have various relations with the void ratio parameter depending on the soil material. Therefore, a general correlation between the liquid limit and void ratio parameters is not suggested to use. Instead, it is recommended to separately evaluate the liquid limit values for the change of the void ratio values of different soils.

Keywords

Liquid limit, Atterberg limits, Void ratio, Soil classification, Soil testing

1. Giriş

Likit limit ilk kez 1911 yılında İsveçli kimyacı ve tarım bilimcisi Albert Atterberg tarafından tanımlanmıştır (Atterberg, 1911). Likit limit zeminlerin plastik davranıştan çıkarak sıvı davranışa geçtikleri su içeriğidir. Bir başka deyişle, likit limit üzerinde su içeriğine sahip zeminler sıvılaşmış durumdadırlar. Sıvılaşma sebebi ile zeminler dayanım değerlerini kaybeder ve kalıp şeklini koruyamaz durumda olurlar (Andrade vd., 2011; Sharma ve Sridharan, 2018; Fiegel ve Kutter, 1994; Stanchi vd., 2017).

Likit limit değeri zemin mekaniğinde farklı alanlarda kullanılmaktadır. Örneğin zemin sınıflama konusundaki temel parametrelerden biridir. Bu sebeple, likit limit değerlerinin doğru belirlenmesi önemlidir. Likit limit değerlerinin belirlenmesi için farklı deney yöntemleri içerisinde, Casagrande ve koni penetrometre deneyleri en popüler ve yaygın kullanılanlardır.

Casagrande deneyi Avusturya doğumlu Amerikan inşaat mühendisi Prof. Dr. Arthur Casagrande (1902-1981) tarafından 1932 yılında geliştirilmiştir (Casagrande, 1932; Casagrande, 1958). Koni penetrometre deneyi ise İsveçli inşaat mühendisi Prof. Dr. Sven Hansbo (1924-2018) tarafından 1957 yılında ilk kez zeminlerin makaslama (kesme) dayanımlarının belirlenmesi amacıyla geliştirilmiştir (Hansbo, 1957). Koni pemetrometre deneyi 1970'li yıllarda zeminlerin likit limit değerlerinin belirlenmesi için Casagrande deneyinin alternatifi olarak kullanılmaya başlamıştır (Clayton ve Jukes, 1978; Sherwood ve Ryley, 1970; Wasti, 1987; Wasti ve Bezirci, 1986; BSI, 1975). Koni pemetrometre deneyi için kullanımda olan BS 1377-2, CEN ISO/TS 17892-6, CAN/BNQ 2501-092/2006 and TS 1900-1 gibi birçok standart mevcuttur (BSI, 1990; ISO, 2017; SCC, 2006; TSE, 2006).

Koni penetrometre ve Casagrande deneyleri malzeme ve metod başlığında detayları verileceği üzere farklı mekanizma ve metodolojik detaylara sahiptir. Kısaca değinmek gerekirse, koni penetrometre deneyi standart çelik bir koninin ıslak zemin içerisindeki ilerleme derinliğine dayalı olarak likit limit değerini belirlemede, Casagrande deneyinde ise standart bir oluğun ikiye ayırdığı ıslak zeminin tekrarlı düşen bir kase içerisinde kapanmasına dayalı likit limit değeri tayin edilmektedir.

Hem Casagrande hem koni penetrometre deneyinde önemli bir eksik olarak zemin numunesinin boşluk oranı değerleri dikkate alınmamaktadır. İlgili standartlarda zeminlerin boşluk oranları ile ilgili hiç bir değer belirtilmemiştir. Bu çalışmanın gerçekleşmesindeki neden olarak, zeminlerin dayanım ve deformabilite özellikleri konusunda önemli bir parametre olduğu için boşluk oranınının zeminlerin sıvılaşması üzerinde de önemli bir rolü olduğu düşünülmüştür (Henniche ve Belkacemi, 2018; Yılmaz vd., 2016; Li 2013; Bensoula vd., 2018). Bu çalışmada boşluk oranınının zeminlerin likit limit değerlerinde anlamlı bir etkiye sahip olup olmaması durumunun incelenmesi amaçlanmıştır. Bu kapsamda, farklı zeminlerin değişen boşluk oranları için likit limit değerleri Casagrande ve koni penetrometre deneyleri ile belirlenmiştir.

2. Malzeme ve Metod

Karadeniz bölgesinden dört farklı konumdan alınan toprak numuneleri incelenmiştir. Giresun, Bulancak, Piraziz ve Ünye'den alınan dört farklı numune sırası ile Zemin G, Zemin B, Zemin P ve Zemin U olarak kodlandırılmıştır. Likit limit deneyleri öncesi zemin numuneleri 200 numaralı (0,075 mm) elekten elenmiştir.

Boşluk oranı hesaplaması için numunelerin özgül ağırlık değerleri ASTM D854-10 kodlu standarta uygun olarak piknometre deneyi ile belirlenmiştir (ASTM International, 2010a). Bu deneyde ilk olarak kuru ve boş piknometre ağırlığı 0.001 gr hassasiyetli elektronik terazi ile ölçülmüştür. Sonra kuru zemin ve piknometre ağırlığı ölçülmüştür. Kuru zemin hazırlamak için numuneler 105 °C sıcaklıktaki etüvde bir gün süre ile bekletilmişlerdir. Kuru zemin konulan 250 ml hacmindeki piknometre tartıldıktan sonra saf su ile doldurulmuş ve 30 dakika bekletildikten sonra içerde kalan havanın çıkması için vakum yapılmıştır. Vakum işlemini takiben piknometre üzerinde 250 ml hacmi belirten çizgi üzerine kadar ek saf su ilave edilmiş ve direnajlı kapakçık kapatılarak su seviyesi

çizgiye indirilmiştir. Numunelerin özgül ağırlıkları Eşitlik 1'de görüldüğü gibi hesaplanmıştır (ASTM International, 2010a)

$$G_s = W_0 / (W_0 + (W_A - W_B)) \quad (1)$$

Burada G_s özgül ağırlık, W_0 kuru zemin kütlesi, W_A saf su dolu piknometre kütlesi, W_B zemin ve saf su ile dolu piknometre kütlesidir. W_0 ve W_B deneyde ölçülmüş, 250 mililitrelik hacmi belli olan piknometreler kullanıldığı için W_A değeri boş piknometre kütlesi ve 250 gr toplanarak hesaplanmıştır.

Koni penetrometre deneyi TS 1900-1 kodlu Türk standartına uygun olarak yapılmıştır (TSE, 2006). Numune boşluk oranı etkisinin incelenmesi için, koni penetrometre deneyinin 80 ml hacmindeki standart numune kabı aynı su içeriğinde farklı kütleyle sahip numuneler ile doldurulmuştur. Koni penetrometre testleri her zeminin (Zemin G, Zemin B, Zemin P, Zemin U) dörder farklı su içeriği için tekrar edilmiştir.

TS 1900-1 kodlu standartta göre 80 gram kütlede 30° açılıya sahip çelik konik uç sabit bit yükseklikten serbest bırakılarak numune üzerine düşer ve 5 saniye süre ile numune içerisindeki batma miktarı ölçülür (Şekil 1). Konik ucun numune içerisindeki 20 mm penetrasyonu için gerekli olan su içeriği zeminin likit limiti olarak belirlenir. Bu ölçüm için farklı su içeriğinde numuneler test edilir (TSE, 2006).



Şekil 1. Koni penetrometre deneyi düzeneği

Casagrande deneyi ASTM D3418-10 kodlu Amerikan standardında belirtilen metodolojiye uygun olarak yapılmıştır. Numuneler standart Casagrande kasesi üzerine yerleştirilerek standart yarık açma bıçağı ile kesilmiş ve kase üzerinde ikiye bölünmüştür. Kase otomatik motor yardımı ile tekrarlı olarak düşmüş ve 25 vuruşta yarıktaki 13 mm uzunluğunda kapanmanın yaşandığı su içeriği likit limit değeri olarak belirlenmiştir (ASTM International, 2010b). Su içeriğinin belirlenmesi için 105°C derecede 1 gün süre ile etüvde bekletilerek numuneler kurutulmuştur. Su içeriği, numune hacmi,

kuru yoğunluk ve özgül ağırlık değerleri kullanılarak Eşitlik 2-5'te görüldüğü gibi boşluk oranları hesaplanmıştır (ASTM International, 2019).

$$\rho_b = M_b / V \quad (2)$$

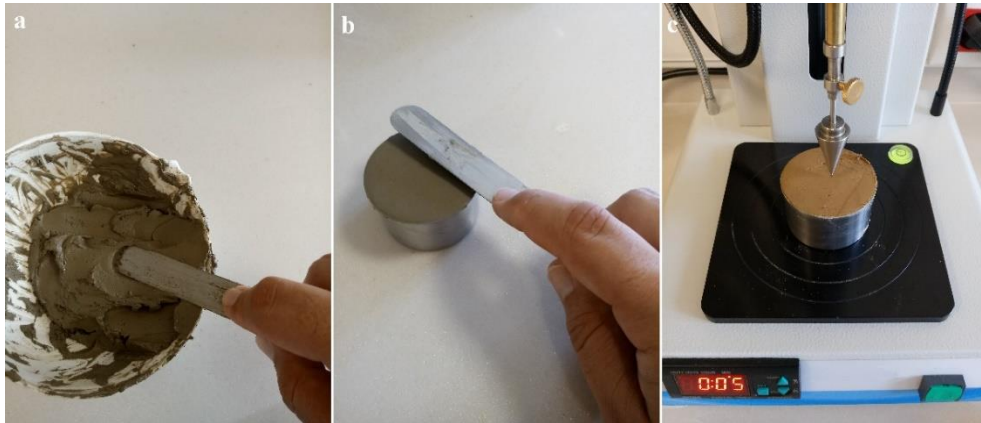
$$\rho_{dry} = \rho_b / (1 + m) \quad (3)$$

$$\gamma_{dry} = \rho_{dry} \cdot g \quad (4)$$

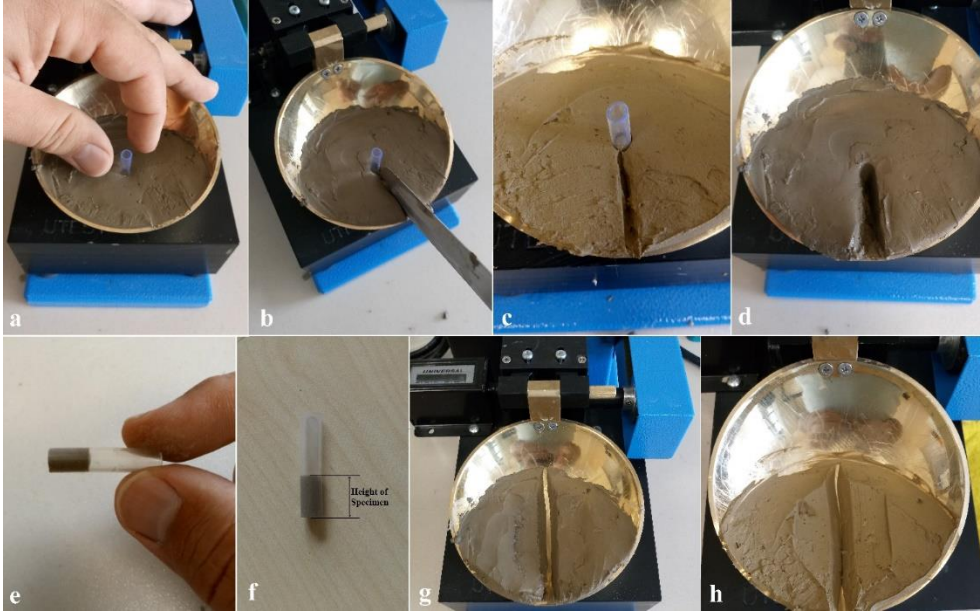
$$\gamma_{dry} = (G_s \cdot \gamma_w) / (1 + e) \quad (5)$$

Burada M_b su ve zemin karışımının kütlesi, V numune hacmi, ρ_b numune yoğunluğu, ρ_{dry} kuru numune yoğunluğu, m su içeriği, g yerçekimi ivmesi, γ_{dry} kuru birim hacim ağırlık, γ_w suyun birim hacim ağırlığı, G_s özgül ağırlık ve e boşluk oranıdır. Koni penetrometre deneyinde 80 cm³ standard kap kullanıldığı ve kabın içindeki numunelerin yüzeyi spatula ile düzleştirildiği için numune hacmi (V) bilinmektedir (Şekil 2). Farklı boşluk oranında numuneleri test etmek için aynı su içeriğine sahip numuneler deney tekrarlarında farklı kütlelerde kap (aynı hacim) içine yerleştirilmiştir. Farklı su içeriğinde farklı boşluk oranına sahip numuneler için koni penetrometre testleri gerçekleştirilmiş ve farklı su içerikleri için boşluk oranına bağlı olarak hesaplanan likit limit değerinin değişimi incelenmiştir. Kuru yoğunluk Eşitlik 3'teki gibi su içeriği ve ilgili su içeriğine sahip olunan yoğunluk değerleri kullanılarak hesaplanmış ve numunelerin boşluk oranları Eşitlik 4 ve 5'te görüldüğü gibi belirlenmiştir.

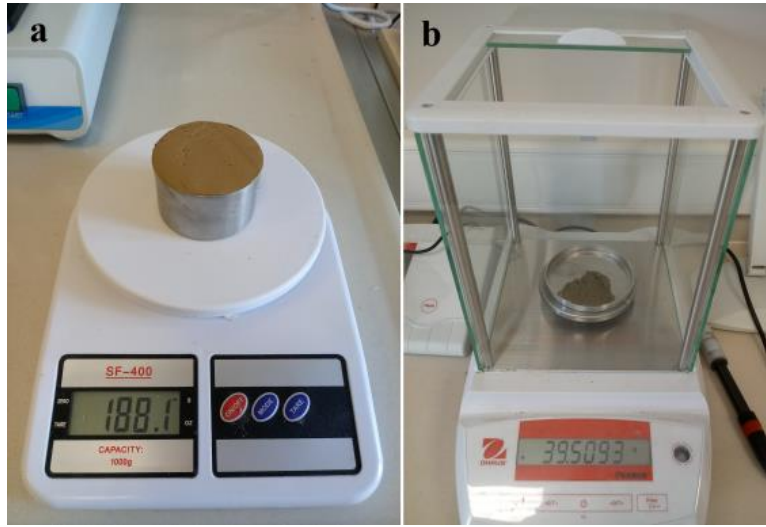
Casagrande deneyinde boşluk oranının belirlenmesi amacıyla kaseden numune alınması için saydam, ucu sivriltilmiş ve 5 mm iç çapa sahip ince cam tüpler kullanılmıştır. Boşluk oranı için numuneler yarık açılacak yerden, yarık açmadan önce cam tüpler kasedeki numuneye sokularak alınmıştır (Şekil 3). Cam tüp içindeki numunelerin boyları hassas verniyeli kumpas kullanılarak ölçülmüş ve numune hacimleri belirlenmiştir. Sonrasında 0.0001 gram hassasiyetindeki çok hassas terazi kullanılarak cam tüp ve numunelerin ağırlıkları ölçülmüş, cam tüpün ağırlığı çıkarılarak numune ağırlıkları hesaplanmıştır (Şekil 4). Numune hacmi, yaş ve kuru ağırlıkları, yoğunlukları, su içeriği ve özgül ağırlığı değerleri kullanılarak Eşitlik 2-5'te görüldüğü gibi Casagrande deneyindeki boşluk oranları belirlenmiştir.



Şekil 2. a) Zemin ve su karışımı hazırlama, b) kaba yerleştirme ve yüzey düzleme, c) koni penetrometre deneyinde numune



Şekil 3. a) Casagrande kasesindeki numuneye tüp sokma, b ve c) tüpü çıkarmak için yön doğrultusunda kesim, d) tüpü aldıktan sonra numune, e ve f) cam tüp içindeki zemin numuneleri, g) yarık kesilmiş numune, h) yarığın kapanması ile deneyin sonlandırılması



Şekil 4. Çalışmada kullanılan tartılar: a) 0.1 gram hassasiyetindeki tartı b) 0.0001 gram hassasiyetindeki tartı

3. Sonuçlar

Piknometre testi ile belirlenen numunelerin özgül ağırlık değerleri Tablo 1’de verilmiştir. Farklı boşluk oranları için değişen koni penetrasyonu değerleri Tablo 2’de verilmiştir. Farklı su içeriğindeki numuneler için 20 mm koni penetrasyonuna denk gelen boşluk oranı değerleri Tablo 3’te verilen regresyon analizleri ile hesaplanmıştır. Boşluk oranı ve likit limit değerleri arasındaki ilişki test edilen zemin türleri için Tablo 4 ve Tablo 5’te verilmiştir. Elde edilen sonuçlara göre, koni penetrometre deneyinde likit limit değerleri boşluk oranındaki artış ile önemli ölçüde azalmıştır. Boşluk oranı ve likit limit değerleri arasında güçlü korelasyonlar görülse de, bu ilişkinin zemin türüne göre değiştiği ve genel bir bağıntının olmadığı belirlenmiştir.

Tablo 1. Zeminlerin özgül ağırlık değerleri

Zemin	G _s
Giresun (Zemin G)	2.55
Bulancak (Zemin B)	2.61
Piraziz (Zemin P)	2.52
Unye (Zemin U)	2.47

Tablo 2. Numunelerin koni penetrasyon (CP) değerleri (m: su içeriği, e: boşluk oranı)

Zemin G			Zemin B			Zemin P			Zemin U		
m	e	CP (mm)	m	e	CP (mm)	m	e	CP (mm)	m	e	CP (mm)
0.25	0.74	13.0	0.24	0.79	13.2	0.31	0.93	12.2	0.30	0.87	16.0
0.25	0.93	15.4	0.24	0.90	15.4	0.31	1.08	14.1	0.30	1.02	17.3
0.25	1.15	17.9	0.24	1.04	17.8	0.31	1.25	16.8	0.30	1.21	18.5
0.32	0.89	16.3	0.28	0.81	16.3	0.37	1.00	14.5	0.33	0.92	16.9
0.32	1.05	18.0	0.28	0.92	19.1	0.37	1.14	16.7	0.33	1.05	18.0
0.32	1.24	20.5	0.28	1.08	21.4	0.37	1.26	19.0	0.33	1.29	20.4
0.37	1.08	19.6	0.31	0.90	19.0	0.42	1.13	17.3	0.38	1.04	19.7
0.37	1.20	21.3	0.31	0.99	21.5	0.42	1.28	20.1	0.38	1.26	21.9
0.37	1.33	24.2	0.31	1.13	23.6	0.42	1.37	23.0	0.38	1.40	24.2
0.41	1.15	22.9	0.35	0.97	22.5	0.49	1.32	22.8	0.44	1.19	22.0
0.41	1.25	25.7	0.35	1.05	24.8	0.49	1.41	24.9	0.44	1.31	25.3
0.41	1.37	28.1	0.35	1.16	26.7	0.49	1.49	27.6	0.44	1.43	27.1

Tablo 3. Koni penetrasyon (CP) ve boşluk oranı (e) arasındaki ilişki için korelasyon verisi

Su içeriği, Zemin	Regresyon doğrusu eşitliği	R ²	Testte boşluk oranı aralığı
0.25, Zemin G	CP: 11.94e + 4.214	0.990	0.74-1.15
0.32, Zemin G	CP: 12.04e + 5.509	0.996	0.88-1.24
0.37, Zemin G	CP: 18.45e - 0.5065	0.984	1.08-1.33
0.41, Zemin G	CP: 23.52e - 3.986	0.989	1.05-1.27
0.24, Zemin B	CP: 18.34e - 1.226	0.996	0.79-1.16
0.28, Zemin B	CP: 18.56e + 1.547	0.974	0.81-1.08
0.31, Zemin B	CP: 19.57e + 1.670	0.970	0.90-1.13
0.35, Zemin B	CP: 21.81e + 1.545	0.979	0.97-1.16
0.31, Zemin P	CP: 14.41e - 1.290	0.995	0.93-1.25
0.37, Zemin P	CP: 17.26e - 2.832	0.986	1.00-1.26
0.42, Zemin P	CP: 23.23e - 9.138	0.977	1.13-1.37
0.49, Zemin P	CP: 28.09e - 14.47	0.979	1.32-1.49
0.30, Zemin U	CP: 7.308e + 9.715	0.991	0.87-1.21
0.33, Zemin U	CP: 9.527e + 8.081	0.998	0.92-1.29
0.38, Zemin U	CP: 12.28e + 6.791	0.980	1.04-1.40
0.44, Zemin U	CP: 21.25e - 3.038	0.972	1.09-1.43

Tablo 4. 20 mm koni penetrasyonu için hesaplanan boşluk oranı (e) ve likit limit (LL) değerleri

Zemin G		Zemin B		Zemin P		Zemin U	
e	LL	e	LL	e	LL	e	LL
1.32	0.25	1.02	0.24	1.48	0.31	1.41	0.30
1.20	0.32	0.99	0.28	1.32	0.37	1.25	0.33
1.11	0.37	0.93	0.31	1.25	0.42	1.08	0.38
1.02	0.41	0.85	0.35	1.22	0.49	0.80	0.44

Tablo 5. Koni penetrometre deneyinden elde edilen boşluk oranı ve likit limit değerleri arasındaki ilişki

Zemin	Regresyon doğrusu eşitliği	R ²
Zemin G	LL: $-0.5273e + 0.9621$	0.984
Zemin B	LL: $-0.6074e + 0.8705$	0.959
Zemin P	LL: $-0.6153e + 1.196$	0.881
Zemin U	LL: $-0.2344e + 0.6286$	0.995

Koni penetrometre deneyi ile benzer şekilde Casagrande deneyinde de likit limit ve boşluk oranı arasındaki ilişki zemin türüne bağlı olarak farklılık göstermiştir. Boşluk oranı ve likit limit arasında genel bir ilişki bulunmadığı belirlenmiştir. Ancak, test edilen tüm zeminler için boşluk oranı artışı ile Casagrande testinde vuruş sayısı düşmüştür. Tablo 6'da farklı su içeriğindeki numuneler için Casagrande testindeki vuruş sayısı değerleri verilmiştir. Tablo 7'deki regresyon kullanılarak 25 vuruşa denk gelen boşluk oranı değerleri farklı su içeriğine sahip numuneler için hesaplanmıştır. Test edilen zeminler için boşluk oranı ve likit limit değerleri arasındaki ilişki Tablo 8 ve Tablo 9'da verilmiştir. Ayrıca, regresyon analizlerine göre likit limit değerlerindeki değişimi gösteren grafikler Şekil 5'te görülmektedir.

Tablo 6. Casagrande testinden elde edilen vuruş sayısı (BN) değerleri (m: su içeriği)

Zemin G			Zemin B			Zemin P			Zemin U		
m	e	BN	m	e	BN	m	e	BN	m	e	BN
0.26	0.82	35	0.22	0.73	29	0.30	0.92	46	0.29	0.89	65
0.26	0.89	34	0.22	0.84	26	0.30	1.10	43	0.29	1.06	47
0.26	0.94	32	0.22	0.89	26	0.30	1.14	41	0.29	1.15	41
0.31	0.95	26	0.29	0.88	17	0.38	1.13	32	0.36	1.08	29
0.31	1.01	24	0.29	1.00	15	0.38	1.20	28	0.36	1.23	24
0.31	1.06	21	0.29	1.07	13	0.38	1.28	25	0.36	1.30	19
0.37	1.06	15	0.34	0.95	12	0.48	1.25	14	0.45	1.29	12
0.37	1.17	13	0.34	1.06	11	0.48	1.33	13	0.45	1.41	10
0.37	1.20	13	0.34	1.13	8	0.48	1.42	11	0.45	1.47	7

Tablo 7. Vuruş sayısı (BN) ve boşluk oranı arasında korelasyon verisi

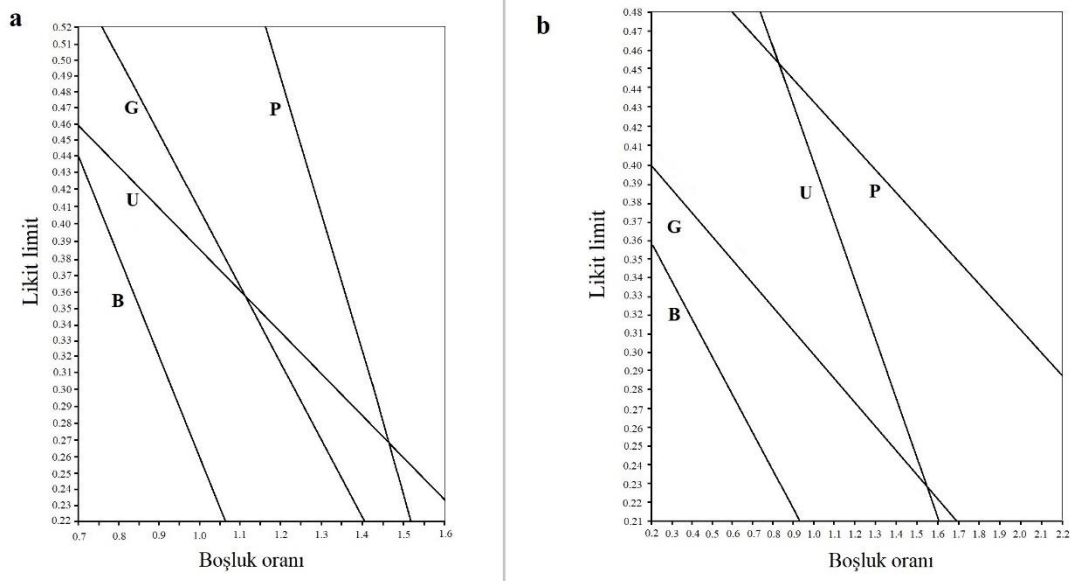
Su içeriği, Zemin	Regresyon doğrusu eşitliği	R ²	Testte boşluk oranı aralığı
0.26, Zemin G	BN: 55.142-24.312e	0.903	0.82-0.94
0.31, Zemin G	BN: 69.023-45.055e	0.972	0.95-1.06
0.37, Zemin G	BN: 31.202-15.337e	0.958	1.06-1.20
0.22, Zemin B	BN: 43.521-20.150e	0.907	0.73-0.89
0.29, Zemin B	BN: 35.237-20.581e	0.976	0.88-1.07
0.34, Zemin B	BN: 32.371-21.056e	0.842	0.95-1.13
0.30, Zemin P	BN: 65.323-20.874e	0.944	0.92-1.14
0.38, Zemin P	BN: 84.236-45.458e	0.985	1.13-1.28
0.48, Zemin P	BN: 36.060-17.653e	0.970	1.25-1.42
0.29, Zemin U	BN: 148.203-94.069e	0.986	0.89-1.15
0.36, Zemin U	BN: 76.394-43.538e	0.957	1.08-1.30
0.45, Zemin U	BN: 46.067-26.190e	0.909	1.29-1.47

Tablo 8. Casagrande testinde 25 vuruş için hesaplanan boşluk oranı ve likit limit değerleri

Zemin G		Zemin B		Zemin P		Zemin U	
e	LL	e	LL	e	LL	e	LL
1.24	0.26	0.92	0.22	2.17	0.30	1.31	0.29
0.98	0.31	0.50	0.29	1.30	0.38	1.18	0.36
0.41	0.37	0.35	0.34	0.63	0.48	0.80	0.45

Tablo 9. Casagrande deneyinden elde edilen boşluk oranı ve likit limit değerleri arasındaki ilişki

Soil	Equation of the regression line	R ²
Soil G	LL: -0.1281e+0.4256	0.974
Soil B	LL: 0.2010e+0.4019	0.970
Soil P	LL: -0.1157e+0.5447	0.981
Soil U	LL: -0.3004e+0.6917	0.959

**Şekil 5.** Koni penetrometre (a) ve Casagrande (b) testlerinde likit limitin boşluk oranına bağlı değişimi

4. Tartışma

Elde edilen sonuçlara göre zeminlerin boşluk oranının likit limit değerleri üzerinde önemli role sahip olduğu belirlenmiştir. Gerek koni penetrometre ve gerek Casagrande testlerinde sonuçların boşluk oranına bağlı olarak değiştiği görülmüştür. Bu sebeple, ilgili deney standartlarında boşluk oranı ile ilgili ifade olmaması önemli bir eksiklik olarak değerlendirilmiştir. Doğru ve kıyaslamalı olarak farklı zeminlerin likit limit değerlerinin belirlenmesi için standart bir boşluk oranı veya aralığı kullanılabilir.

Hacmi bilinen düzgün şekilli silindirik numunelerin kullanılması sebebi ile koni penetrometre deneyinde numune boşluk oranı ayarlanabilir. Likit limit deneyi öncesi istenilen bir boşluk oranına sahip olmak için zeminin özgül ağırlık ve su içeriği bilinmeli, bu sebeple önce kuru numune hazırlanmalıdır. Koni penetrometre deneyinin aksine Casagrande deneyinde hedef bir boşluk oranında numune hazırlamak, boşluk oranının belirli bir değerde olmasını ayarlamak mümkün değildir. Bunun yerine, numune hazırlandıktan ve kase üzerine yerleştirildikten sonra boşluk oranı belirlenebilmektedir. Bu açıdan bakıldığında koni penetrometre deneyinin Casagrande deneyine göre daha avantajlı olduğu söylenebilmektedir. Boşluk oranı ve likit limit değerleri arasındaki ilişkinin farklı zeminler için değişiklik göstermesi sebebi ile farklı zeminler için bir korelasyon kullanımı uygun değildir.

Likit limit değerinin aşılması sıvılaşma olması zeminin dayanımını kaybetmesi ve dışardan gelen bir gerilme altında sıvı gibi hareket etmesi ile ilgili bir olgudur (Moradi vd., 2014; Zhang vd., 2015; Kheirbek-Saoud ve Fleureau, 2012). Boşluk oranı azaldıkça tanelerin kenetlenmesinde iyileşme olmaktadır. İçsel sürtünme açısı da boşluk oranındaki azalma ile artış göstermektedir (Alikonis, 1995; Santana ve Candeias, 2018; Zhang vd., 2018). Casagrande deneyindeki oluğun kapanması mikro bir şev duraysızlığı olarak düşünüldüğünde, sıkı ve boşluk oranı az olan numunelerin kayma ve kapanmaya karşı direncinin yüksek olduğu öngörülebilmektedir (Ukritchon ve Keawsawasvong, 2018; Zhang vd., 2015; Duncan vd., 2014; Zhai ve Cai, 2018).

Koni penetrometre deneyi mekanizması hususunda koninin zemin içerisinde ilerlemesi boşluk oranı ile doğrudan ilgilidir ve elde edilen sonuç sadece su içeriğine bağlı değildir. Bu sebeple, boşluk oranı göz ardı edilerek hesaplanan likit limit değerleri güvenilir olmayacaktır. Benzer şekilde, popüler arazi deneylerinden olan koni penetrasyon deneyi (CPT) ve standart penetrasyon deneyi (SPT) sonuçlarının da zemin rölatif sıklık değeri ile güçlü korelasyona sahip olduğu bilinmektedir (Anbazhagan, 2017; Barounis ve Philpot, 2018; Muftaba vd., 2018).

Plastik limit gelecek çalışmalar için incelenebilecek olan bir diğer konudur. Boşluk oranının doğru zemin sınıflaması yapmak için önemli bir parameter olan plastik limit üzerindeki etkileri incelenmeli ve değerlendirilmelidir.

5. Sonuç

Kısaca, boşluk oranının gerek koni penetrometre ve gerek Casagrande deneyi ile belirlenen likit limit değerleri üzerinde önemli etkisi olduğu değerlendirilmiştir. Boşluk oranının dikkate alınmadığı

deney yöntemleri operatöre bağlı sonuçlara sebep olmaktadır ve önemli eksikliklere sahiptir. Bu konuda kullanımda olan standartların güncellenmesi gerekmektedir. Numune hacmi belirli olduğu için koni penetrometre deneyi hedef bir boşluk oranına sahip olunması için Casagrande deneyine kıyasla avantajlıdır. Boşluk oranı ile değişen likit limit değerleri sebebi ile zeminlerin sınıvlaşma özellikleri için tek bir likit limit değerinin dikkate alınması önerilmemektedir. Çalışmanın bir diğer çıktısı olarak, likit değerleri ve boşluk oranı arasında farklı zeminler için geçerli genel bir ilişki bulunmamaktadır. Bu sebeple, zeminlerin likit limit değerleri test yapmadan farklı boşluk oranı değerleri ile ilişkilendirilmemelidir.

Teşekkür ve Bilgi

Bu çalışma Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi tarafından desteklenmiş ve deneyler FEN-BAP-A-150219-27 kodlu proje kapsamında gerçekleştirilmiştir. Yazarlar desteklerinden dolayı Giresun Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimine teşekkür ederler.

Kaynaklar

- Alikonis, A., 1995. Ground compaction zone of structures and structural strength of soil, *Journal of Civil Engineering and Management*, 1(2), 65-70. <https://doi.org/10.3846/13921525.1995.10531513>
- Anbazhagan, P., Uday, A., Moustafa, S.S.R., Al-Arifi, N.S.N., 2017. Soil void ratio correlation with shear wave velocities and SPT N values for Indo-Gangetic basin, *Journal of Geological Society of India*, 89, 398-406. <https://doi.org/10.1007/s12594-017-0621-z>
- Andrade F.A., Al-Qureshi H.A., Hotza, D., 2011. Measuring the plasticity of clays: A review, *Applied Clay Science*, 51, 1–7. doi:10.1016/j.clay.2010.10.028
- ASTM International, 2010. ASTM D854-10: Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer, 2010 Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM International, 2010. ASTM D4318-10: Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, 2010 Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2010.
- ASTM International, 2019. ASTM D2216 – 19: Standard Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass. 2019 Annual Book of ASTM Standards, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Atterberg, A. 1911. Die Plastizität der Tone, *Internationale Mitteilungen für Bodenkunde* 1, 10–43
- Barounis, N., Philpot, J., 2018. Estimation of in-situ water content and void ratio using CPT for saturated sands, *Proceedings of the 4th International Symposium on Cone Penetration Testing (CPT'18)*, Eds: Hicks, M.A., Pisanò, F., Peuchen, J., 21-22 June, 2018, Delft, The Netherlands, CRC Press, pp. 129-135
- Bensoula, M., Missoum, H., Bendani, K., 2018. Liquefaction potential sand-silt mixtures under static loading. *Revista de la Construcción*, 17(2), 196-208. doi: 10.7764/RDLC.17.2.196
- British Standards Institute, 1975. *Methods of Test for Soils for Engineering Purposes*, London

- British Standards Institute, 1990. BS 1377-2 Methods of test for soils for civil engineering purposes: Classification Tests, London
- Casagrande, A., 1932. Research on the Atterberg limits of soils, *Public Roads*, 13 (3), 121-136.
- Casagrande, A., 1958. Notes on the Design of the Liquid Limit Device, *Geotechnique*, 8, 84-91
- Clayton, C.R.I., Jukes, A.W., 1978. A One Point Cone Penetrometer Liquid Limit Test?, *Geotechnique*, 28, 469-472, <https://doi.org/10.1680/geot.1978.28.4.469>
- Duncan, J.M., Wright, S.G., Brandon, T.L., 2014. *Soil Strength and Slope Stability*, John Wiley & Sons, United States, New Jersey.
- Fiegel, G.L., Kutter, B.L., 1994. Liquefaction Mechanism for Layered Soils, *Journal of Geotechnical Engineering*, 120, Paper no: 737. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9410\(1994\)120:4\(737\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9410(1994)120:4(737))
- Hansbo, S., 1957. A new approach to the determination of the shear strength of clay by the fall cone test, Royal Swedish Geotechnical Institute
- Henniche, A., Belkacemi, S., 2018. Numerical Simulation to Select Proper Strain Rates during CRS Consolidation Test, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 62(2), 404-412. <https://doi.org/10.3311/PPci.9650>
- International Organization for Standardization, 2017. ISO 17892-6:2017: Geotechnical investigation and testing - Laboratory testing of soil - Part 6: Fall cone test. Geneva, Switzerland.
- Kheirbek-Saoud, S., Fleureau, J., 2012. Liquefaction and post-liquefaction behaviour of a soft natural clayey soil. *Geomechanics and Engineering*, 4(2), 121-134. <https://doi.org/10.12989/gae.2012.4.2.121>
- Li, Y., 2013. Effects of particle shape and size distribution on the shear strength behavior of composite soils, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 72, 371-381. <https://doi.org/10.1007/s10064-013-0482-7>
- Moradi, G., Sotoubadi, M.H., Khatibi, B.R., 2014. The influence of overburden pressure on liquefaction potential, *Turkish Journal of Engineering & Environmental Sciences*, 38, 323-337.
- Mujtaba, H., Farooq, K., Sivakugan, N., Das, B.M., 2018. Evaluation of relative density and friction angle based on SPT-N values, *KSCE Journal of Civil Engineering*, 22, 572-581. <https://doi.org/10.1007/s12205-017-1899-5>
- Santana, T., Candeias, M., 2018. Effect of Void Ratio on K_0 of a Sand by Means of Triaxial Stress-Path Testing, *Geotechnical and Geological Engineering*, 36, 257-266. <https://doi.org/10.1007/s10706-017-0324-7>
- Sharma, B., Sridharan, A., 2018. Liquid and plastic limits of clays by cone method, *International Journal of Geo-Engineering*, 9:22. <https://doi.org/10.1186/s40703-018-0092-0>
- Sherwood, P.T., Ryley, M.D., 1970. An investigation of a cone-penetrometer method for the determination of the liquid limit, *Géotechnique*, 20(2), 203-208. <https://doi.org/10.1680/geot.1970.20.2.203>
- Stanchi, S., Catoni, M., D'Amico, M.E., Falsone, G., Bonifacio, E., 2017. Liquid and plastic limits of clayey, organic C-rich mountain soils: Role of organic matter and mineralogy, *Catena*, 151, 238-246. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2016.12.021>

- Standards Council of Canada (SCC), 2006. CAN/BNQ 2501-092/2006: Soils-determination of liquid limit by the Swedish fall cone penetrometer method and determination of plastic limit, National Standard of Canada, Ottawa, Ont.
- Turkish Standards Institution (TSE), 2006. TS 1900-1: İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri, TSE, Bakanlıklar, Ankara
- Ukritchon, B., Keawsawasvong, S., 2018. A new design equation for drained stability of conical slopes in cohesive-frictional soils, *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 10(2), 358-366. <https://doi.org/10.1016/j.jrmge.2017.10.004>
- Wasti, Y., 1987. Liquid and Plastic limits as determined from the fall cone and the Casagrande methods, *ASTM Geotechnical Testing Journal*, 10(1), 26-30. <https://doi.org/10.1520/GTJ10135J>
- Wasti, Y., Bezirci, M.H., 1986. Determination of the Consistency Limits of Soils by the Fall Cone Test, *Canadian Geotechnical Journal*, 23, 241-246. <https://doi.org/10.1139/t86-033>
- Yilmaz, Y., Kheirjouy, A.B., Akgungor, A.P., 2016. Investigation of the Effect of Different Saturation Methods on the Undrained Shear Strength of a Clayey Soil Compacted with Standard and Modified Proctor Energies, *Periodica Polytechnica Civil Engineering*, 60(3), 323-329. <https://doi.org/10.3311/PPci.8891>
- Zhai, J., Cai, X., 2018. Strength Characteristics and Slope Stability of Expansive Soil from Pingdingshan, China, *Advances in Materials Science and Engineering*, vol. 2018, Article ID 3293619, 7 pages. <https://doi.org/10.1155/2018/3293619>.
- Zhang, L.L., Fredlund M.D., Fredlund D.G., Lu, H., Wilson, G.W., 2015. The influence of the unsaturated soil zone on 2-D and 3-D slope stability analyses, *Engineering Geology*, 193, 374-383. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.05.011>
- Zhang, Q., Upadhyaya, S.K., Liaoa, Q., Li, X., 2018. Determination of in-situ engineering properties of soil using an inverse solution technique and limited field tests, *Journal of Terramechanics*, 79, 69-77. <https://doi.org/10.1016/j.jterra.2018.07.001>
- Zhang, W., Goh, A.T.C., Zhang, Y., Chen, Y., Xiao, Y., 2015. Assessment of soil liquefaction based on capacity energy concept and multivariate adaptive regression splines, *Engineering Geology*, 188, 29-37. <https://doi.org/10.1016/j.enggeo.2015.01.009>