©2017 Published in 5th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science 29-30 September 2017 (ISITES2017 Baku - Azerbaijan)

Siltlerde Sıvılaşma Potansiyelinin Geçirimlilik Katsayısı ile İlişkisi

[1]Aşkın Özocak, [1]Sedat Sert, *[1]Ertan Bol, [2]Yadigar Altundağ, [2]Merve Çetin
[1]Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Sakarya Üniversitesi, Türkiye
[2]Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği Geoteknik Programı, Sakarya Üniversitesi, Türkiye

Özet

Siltli zeminlerin sıvılaşma potansiyeli 99 Marmara depremiyle birlikte Geoteknik Mühendisliğinde dikkat çekmeye başlamıştır. Konu üzerindeki çalışmalar artan bir yoğunlukla sürmektedir. Sakarya Üniversitesi'nde de siltli zeminler hem arazi hem de laboratuvar çalışmaları ile araştırılmaya devam etmektedir. Bu konuda Adapazarı Kriteri yöntemi ile literatüre önemli bir katkı da sunulmuştur. Bilindiği gibi zeminlerin sıvılaşabilirliği geçirimlilik katsayısı ile doğrudan ilişkilidir. Bu çalışmada farklı kil oranlarında hazırlanan silt zemin numunelerinin geçirimlilik katsayıları düşen seviyeli geçirimlilik deneyi ile doğrudan ölçülmüştür. Çalışma sonucunda siltli numunelerde sıvılaşma potansiyeli için eşik geçirimlilik katsayısı değeri 2.25×10^{-7} cm/s olarak belirlenmiştir.

Anahtar kelimeler: Silt, kil oranı, sıvılaşma, geçirimlilik katsayısı, Adapazarı Kriteri

The Relationship between Liquefaction Potential and Hydraulic Conductivity of Silty Soils

[1]Aşkın Özocak, [1]Sedat Sert, *[1]Ertan Bol, [2]Yadigar Altundağ, [2]Merve Çetin
[1]Engineering Faculty, Civil Engineering Department, Sakarya University, Turkey
[2]Institue of Natural Sciences, Geotechnical Engineering Programme, Sakarya University, Turkey

Abstract

Liquefaction potential of silty soils became an important study subject after the 99 Marmara Earthquake in Geotechnical Engineering. Studies on this subject have been continuing with increasing intensity. At Sakarya University, silty soils continue to be investigated by both in-situ and laboratory studies. In this regard, an important contribution to the literature has been presented with the Adapazarı Criteria method. As is known, liquefaction of the soils is directly related to the coefficient of permeability. In this study, the permeability coefficients of silty soil samples, which were prepared at different clay ratios, were directly measured by the falling head permeability test. As a result of the study, the relation between the liquefaction potential and the permeability coefficient of silty soils has been revealed.

Key words: Silt, clay content, liquefaction, hydraulic conductivity, Adapazarı Criteria

1. Giriş

Depremler zeminlerde kayma direnci kayıpları ve yenilmeler meydana getirmekte olup, zeminlerin deprem sırasındaki davranışının anlaşılabilmesi ve izlenmesi için çok sayıda çalışma yapılmaktadır. Kumların ve killerin statik ve dinamik davranışları geçmişte birçok araştırmacı

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: ebol@sakarya.edu.tr, Phone: +902642955746

tarafından incelenmiştir. Siltli zeminlerin dinamik davranışı ile ilgili çalışmalar ise son 20 yılda literatürde yerini almıştır. Özellikle siltli zeminlerin deprem sırasındaki davranışıyla ilgili belirsizlikler ülkemizde de çalışma konularını bu yöne doğru yönlendirmektedir. Depremler sırasında tekrarlı kayma gerilmeleri alan zeminler bazı koşullar gerçekleştiğinde işlevlerini yitirirler. Bu kayıplar çevrimsel hareketlenme, sıvılaşma, taşıma gücünü yitirme, aşırı toplam ve farklı oturmalar ve yanal yayılma (akma) biçiminde belirebilmektedir. 1964 Alaska depreminden sonra 1999 Marmara depreminde Adapazarı'nda görülen zemin yenilmelerinin kaynağı olarak siltli zeminler gösterilmiştir [1], [2], [3]. Bu çalışmada kil ve kum içeriğinden arındırılan silt numune ile bu siltten ayırtlanmış kilin farklı oranlarda kullanılmasıyla hazırlanan yeni numunelerin geçirimlilik katsayısı değerleri düşen seviyeli permeametre deneyi yardımı ile elde edilmiştir. Bunun yanında sıvılaşma potansiyeli Adapazarı Kriterine göre belirlenen numunelerin sıvılaşma potansiyeli açısından eşik geçirimlilik katsayısı değeri de ortaya konmuştur.

2. Silt Zeminlerin Dinamik Davranışı

Zeminin dinamik/sismik koşullar altındaki davranışını anlamada en kolay yol zemin yenilmelerinin tanımlanmasıdır. Zemin yenilmesi; batık veya doygun zeminin deprem sırası ve hemen sonrasında çevrimsel hareketlilik kazanması, sıvılaşması, temel altında taşıma gücünü yitirmesi, eğimli arazide akması, uzun süren deprem sırasında tekrarlı yükleme sonucu aşırı sıkışmalar göstermesi olaylarını kapsar. Bu olayları birbirinden ayırmak da her zaman kolay olmamaktadır. Kumlu ve killi zeminlerin dinamik yükler etkisinde davranışları son yüz yılda çokça incelenmiş olup bu zeminlerdeki yüklemelerin ne tür sonuçlar doğuracağı kısmen tahmin edilebilmektedir. Son yıllarda ise siltli zeminlerin dinamik davranışı konusundaki çalışmalar artmaya başlamıştır [4].

Siltlerde sıvılaşmanın, en azından başlangıç sıvılaşmasının, kumlarda görülen kolaylıkla oluşmadığı, hatta MI ve MH siltlerde olağan deprem koşullarında (M_w<7, t<50 s) belki de hiç belirmediği yolunda kuşkular vardır. Buna bağlı olarak da siltler kumsu (*sand like*) ve kilsi (*clay like*) olarak ayırtlanmış ve sıvılaşabilir grubun daha ziyade kumsu'lar olduğu öne sürülmüştür [5]. Diğer bir deyişle, kilsi siltte ve killi zeminlerde sadece çevrimsel yumuşama (*cycling softening*) olası iken, kumsu karışımlarda tipik sıvılaşma belirtileri ortaya çıkmaktadır. Kesin yargıya varılamayan birçok durumda da deney yapılması hemen tüm araştırmacılarca önerilmektedir.

Siltli zeminlerin deprem performansının belirlenmesi için kullanılan Çin Kriteri [1], özellikle 1999 Marmara depremi sonrasında çeşitli araştırmacılar tarafından yeniden değerlendirilmekte olup sürekli güncellenmektedir. İnce daneli zeminlerin sıvılaşması konusunda gelinen son nokta Adapazarı Kriteri olarak tanımlanmıştır [6].

İnce daneli zeminlerde kumlarda olduğu gibi başlangıç sıvılaşmasına kolaylıkla erişilememesi kum ve iri silt daneleri arasında oluşan "kil köprüleri"nin geçirimliliği azaltıp boşluk suyu basıncı rejimini kısıtlaması yanında, karışımın kalıntı direncinin aşırı düşük kalmamasından kaynaklanmaktadır [7]. Bu mantık tutarlı ise, ince daneli zeminin dinamik direncinin artan kil yüzdesi ile yükselmesi gerekecektir. Plastisite indisindeki değişimler aşırı olmadığından kil yüzdesinin CRR üzerindeki etkisinin öncelikle değerlendirilmesi daha tutarlı bir yol gibi

gösterilebilir.

Ural (2008), siltli zeminlerde sıvılaşmanın deneysel incelemesini yapmıştır. Araştırmacı, depremlerin çok değişkenli bir yapıya sahip olduğunu söyleyerek, deprem sonucu meydana gelen sıvılaşmanın kumlarda olan etkisinin kanıtlanabilir bir davranış olduğunu belirtmiş, bunun yanında siltlerde meydana gelebilecek sıvılaşma davranışının henüz net olarak ne tür bir davranışa sahip olduğunun açıklanamadığını dile getirmiştir. Çalışmalarda farklı kil yüzdeleri ilavesi ile siltli zeminler üzerinde dinamik üç eksenli deneyleri yapılmış, elde edilen sonuçlar ince daneli zeminler için kullanılan sıvılaşma kriterleriyle kıyaslanmıştır [8].

Özay ve Erken (2003), killi zemin numunelerinde plastisitenin dinamik mukavemet üzerinde ne tür etki göstereceğini anlamak amacı ile araziden piston numune alıcılarla örselenmemiş numuneler almışlar ve bu numuneler üzerinde laboratuvarda dinamik üç eksenli deneyler yapmışlardır. Dinamik deneyler, 0.5 Hz sabit frekans ve farklı genliklerde yapılmış olup araştırıcılar, % 5 düşey boy değişimi değeri için, dinamik kayma gerilmesi oranı ve çevrim sayısı değişimlerini elde etmişlerdir. Deney sonuçlarına göre aynı kıvamda ve aynı gerilme altında konsolide edilen numunelerden plastisitesi yüksek olan numunenin dinamik kayma gerilmesi oranının daha yüksek oluştuğunu tespit etmişlerdir [9].

Özocak ve Çetin (2016), farklı kil oranına sahip siltli zeminlerde yapılan dinamik üç eksenli deney sonuçlarına göre numune içerisindeki kil oranı azaldıkça 15. çevrimdeki boşluk suyu basınçlarının yüksek kil oranına sahip numunelere oranla daha hızlı artış gösterdiğini ifade etmişlerdir. Bu noktadan hareketle zemin içerisindeki kil oranının siltli zeminin dinamik davranışı üzerinde önemli bir parametre olduğu ve yüksek kil oranına sahip numunelerin daha zor sıvılaşma eğilimi göstereceği ortaya konmuştur. İnce daneli zeminlerde kil oranının artmasıyla belirli bir çevrim sayısı sonunda ulaşılan boşluk suyu basıncı değerlerinin azaldığı görülmüş, aynı şekilde zeminin sergilediği deformasyon büyüklüğü de azalım eğilimi göstermiştir [10].

Özocak ve diğ. (2013), yaptıkları çalışmada ince daneli zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde yeni bir yaklaşım önermişlerdir. Zeminlerin arazide koni penetrasyon deneyi (PCPT) ile ölçülen sönümlenme özelliklerinin sıvılaşma ile ilişkisini ortaya koymuşlardır. Bilindiği gibi sönümlenme özellikleri de zeminin geçirimlilik özellikleri ile doğrudan ilişkilidir. Geçirimlilik ve dinamik üç eksenli test sonuçlarına göre %10'dan daha fazla kil oranına sahip numunelerde başlangıç sıvılaşması gözlemlenmemiş ve bu geçiş $2.1x10^{-8}$ m/s civarındaki geçirimlilik katsayısı değeri ile ortaya çıkmıştır [11].

3. Deneysel Çalışma

3.1. Numune özellikleri

Çalışma kapsamında yürütülen deneylerde numune olarak, Adapazarı Yenigün Mah. Tacettin Sert arazisinden alınan siltli zemin kullanılmıştır. Doğal numune içindeki kil miktarı çöktürme yöntemi ile azaltılmış, daha sonra bu numuneye çöktürülen kilden farklı oranlarda katılarak 8 ayrı numune elde edilmiştir. Deneysel çalışmada kullanılan bu numunelerin TS 1900-1/2006 [12] uyarınca belirlenen fiziksel özellikleri Tablo 1'de sunulmuştur.

Tablo 1. Numunelerin Fiziksel Özellikleri

Num. No	Numune Tanımı	LL_{Cas}	LL_{Koni}	PL	PI	$\%C_{Hid}$	$\%C_{Pipet}$	Sınıf (TS1500)
1	Yüzdürülmüş silt	33	33	28	5	7.5	5.2	ML
2	%100 silt	33	34	24	9	6	6.5	ML
3	%10 Kil katkılı silt	33	36	23	10	11	11.6	CL
4	%20 Kil katkılı silt	33	36	29	4	12.5	12.8	ML
5	%30 Kil katkılı silt	33	37	29	5	14	15.4	ML
6	%40 Kil katkılı silt	34	35	30	4	15.5	16.1	ML
7	%50 Kil katkılı silt	35	35	26	9	11	18.7	MI
8	%100 Kil	48	50	33	15	20.5	21	MI

Düşen seviyeli geçirimlilik deneyleri, yukarıda tanımlanan numunelerin 100 kPa düşey gerilme altında konsolide edilerek hazırlanan örnekleri üzerinde gerçekleştirilmiştir. Hazırlanmış olan karışımların her birinden 1 kg alınmış, içerisine su muhtevası değerinin likit limiti değerini geçmesini amaçlayarak 400 ml su ilave edilerek iyice karıştırılmış ve karışım en az 2 saat boyunca desikatörde vakuma maruz bırakılmıştır. Bulamaç haline gelen numuneler 5 cm çaplı hücrelere önce poroz taşı, ardından filtre kağıdını takip ederek yerleştirilmiştir. Bulamaç halindeki numuneler önce kendi ağırlığı altında, sonra yavaş yavaş arttırılan düşey kuvvet ile 4-5 günlük bir süreç içinde 100 kPa altında konsolide edilmişlerdir (Şekil 1). Yeniden oluşturulan bu numuneler düşen seviyeli geçirimlilik deney aletine yerleştirilerek geçirimlilik deneyine tabi tutulmuşlardır.

Şekil 1. Numunelerin bulamaçtan 100 kPa düşey gerilme altında yeniden oluşturulması

3.2. Geçirimlilik deneyleri

Laboratuvarda sağlanan hidrolik eğimler altında numuneden yeterli su hacmi geçirilemiyorsa zeminin geçirimsiz olduğu anlaşılır ve deney düşen düzeyli olarak gerçekleştirilir. Bu tür deney, tüm killer ve killerin siltlerle karışımlarında uygulanır. Deneylerde kullanılan düşen düzeyli geçirimlilik aleti Şekil 2'de gösterilmiştir. Ölçüm öncesinde numune permeametreye yerleştirilip doyurulmakta ve üstteki cam tüp suyla doldurulduktan sonra akımın kararlılığı sağlanmaktadır [13]. Daha sonra ise suyun tüp içinde iniş hızı ölçülmektedir. Deneyin en önemli özelliği, numunenin geçirimliliğine bağlı olarak üstteki cam tüpün çapının değiştirilebilmesidir. Kil çok geçirimsiz ise tüpün çapı olabildiğince küçük seçilir ve suyun düşey hareketinin rahatça izlenmesine olanak sağlanır. Süreklilik kuralına göre cam tüpten kaybolan su hacmi numune içinden geçerek savaktan çıkmalıdır. Bu olmadığı takdirde, yani numune doygun değilse, ölçüm sonuçları kabul edilemez derecede hatalı çıkar. Numune kesit alanı A ile, cam boru kesit alanı a arasında oran 100 dolayında tutulmalıdır. Kararlı akım koşulu sağlandığında debiler,

$$dQ = -a.dh = A.k\frac{h}{l}.dt \tag{1}$$

olarak eşitlenebilir. Taraf değiştirilip entegrasyon yapılırsa geçirimlilik katsayısı;

$$k = L\frac{a}{A}\frac{1}{\Delta t}\ln\left(\frac{h_1}{h_2}\right) \tag{2}$$

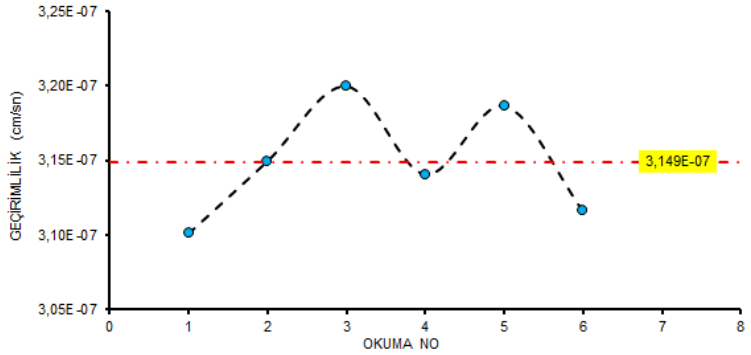
hesaplanabilir. Burada, L ölçüm yapılan numune boyunu, Δt ölçüm zaman aralığını, h_1 ve h_2 sırasıyla ilk ve son su seviyesi yüksekliğini göstermektedir.

Şekil 2. Düşen seviyeli geçirimlilik deney aparatında, numune doyurma ve ölçüm aşamaları

Düşen seviyeli geçirimlilik deneyleri sonucu numunelerin hesaplanan geçirimlilik katsayıları Tablo 2'de verilmiştir. Bunun yanında aynı tabloda numunelerin Adapazarı Kriteri'ne göre [6] sıvılaşma potansiyeli taşıyıp taşımadıkları da gösterilmiştir. Deney sonuçlarına göre yapılan hesaplamalar için Şekil 3'te örnek grafik verilmiştir.

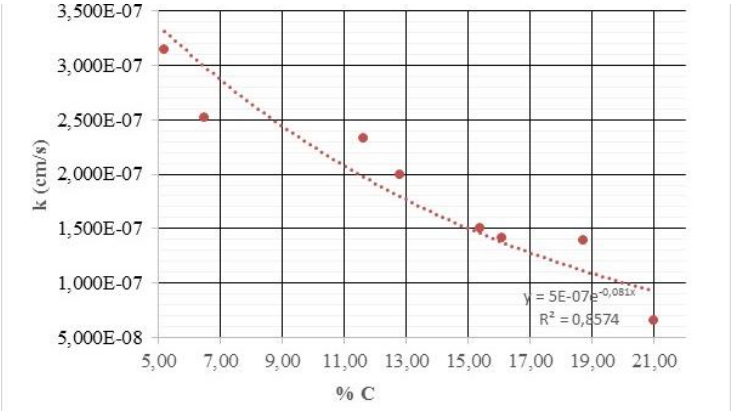
Tablo 2. Numunelerin geçirimlilik katsayıları ve sıvılaşma potansiyelleri

Num. No	Numune Tanımı	k (10^{-7}*cm/s)	Sınıf (TS1500)	Sıvılaşma
1	Yüzdürülmüş silt	3.149	ML	Var
2	%100 silt	2.526	ML	Var
3	%10 Kil katkılı silt	2.329	CL	Yok
4	%20 Kil katkılı silt	1.998	ML	Yok
5	%30 Kil katkılı silt	1.504	ML	Yok
6	%40 Kil katkılı silt	1.419	ML	Yok
7	%50 Kil katkılı silt	1.390	MI	Yok
8	%100 Kil	0.6592	MI	Yok



Şekil 3. Düşen seviyeli geçirimlilik deneyi için yapılan hesaplama (1 nolu numune)

Şekil 4'te geçirimlilik katsayısı değerleri ile numunelerdeki kil oranı arasındaki ilişki grafik olarak verilmiştir. Sonuçlar Tablo 2 ile karşılaştırıldığında sıvılaşma potansiyeli taşıyan ve taşımayan numunelerin geçirimlilik katsayısı değerleri arasındaki eşik değerin %10 kil oranı sınır değeri için $2.25x10^{-7}$ cm/s olarak verilebileceği anlaşılmaktadır.



Şekil 4. Geçirimlilik katsayısı değerleri ile kil oranı arasındaki ilişki

Sonuçlar

Bu çalışmada, laboratuvarda yeniden oluşturulmuş, farklı kil oranına sahip siltli numunelerin geçirimlilik katsayıları düşen düzeyli permeametre deneyi yardımıyla belirlenmiştir. Aynı numunelerin fiziksel özellikleri yardımıyla Adapazarı Kriteri'ne göre sıvılaşma potansiyeli taşıyıp taşımadıkları ortaya konmuştur. Zemin içerisindeki kil oranının siltli zeminin dinamik davranışı üzerinde önemli bir parametre olduğu, yüksek kil oranına sahip numunelerin daha zor sıvılaşma eğilimi gösterdiği teyit edilmiştir. Bunun sonucunda siltli numunelerde sıvılaşma potansiyeli için eşik geçirimlilik katsayısı değeri 2.25×10^{-7} cm/s olarak belirlenmiştir.

Kaynaklar

[1] Wang, W.S. Some Findings in Soil Liquefaction. Research Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power Scientific Research Institute, Beijing, 1979.
[2] Özocak, A., Önalp, A. Siltlerde Sıvılaşma Davranışına Yapay ve Doğal Numune Kullanımının Etkisi. 7. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 2011.
[3] Özocak, A., Bol, E., Önalp, A, Arel, E., Sert, S., Duran, İ.B. Siltlerde Sıvılaşma Davranışının İncelenmesinde Dinamik Deney Yönteminin Etkisi. 4. Geoteknik Sempozyumu, Çukurova Üniversitesi, Adana, 2011.
[4] Özsağır, M. İnce Daneli Zeminlerin Dinamik Özellikleri. Yüksek Lisans Tezi. SAÜ, FBE, 2015.
[5] Idriss, I.M., Boulanger, R.W. Semi-emprical Procedures for Evaluating Liquefaction Potential during Earthquakes. Soil Dynamics and Earthquake Engineering, Elsevier, 2006, 26:115-130.
[6] Bol, E., Önalp, A., Arel, E., Sert, S., Özocak, A. Liquefaction of Silts: The Adapazarı Criteria. Bulletin of Earthquake Engineering, 2010, 8:859-873.
[7] Mitchell, J.K., Soga, K. Fundamentals of Soil Behaviour, 3rd ed., J.Wiley, New York, 2005.
[8] Ural, N. İnce Taneli Zeminlerde Kil Oranının Sıvılaşmaya Etkisi. Doktora Tezi. SAÜ, FBE, 2008.
[9] Özay, R., Erken, A. Killerde Plastisitenin Dinamik Kayma Gerilmesi Oranına Etkisi. İTÜ Dergisi/d mühendislik, 2003, Cilt:2, Sayı:1, 55-63.
[10] Özocak, A., Çetin, M. Dynamic Behaviour of Silty Soils Have Different Clay Ratios. ISITES2016, 4th International Symposium on Innovative Technologies in Engineering and Science, Alanya/Antalya – Turkey, 3-5 November 2016.
[11] Özocak, A., Sert, S. and Bol, E. Evaluation of the Liquefaction Potential through Dissipation Measurement in PCPT. Quarterly Journal of Engineering Geology and Hydrogeology 2013, v.46; p337-350. doi: 10.1144/qjegh2012-028.
[12] TSE. TS1900-1 İnşaat Mühendisliğinde Zemin Laboratuvar Deneyleri- Bölüm 1: Fiziksel Özelliklerin Tayini, Ankara, 2006.
[13] Önalp, A. Çözümlü Problemler ile Zeminler ve Mekaniği. 3. Baskı, İstanbul: Birsen Yayınevi, 2007.