

Eskişehir Kohezyonlu Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi

¹Mehmet İnanç Onur

¹Mühendislik Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Anadolu Üniversitesi, Türkiye

Özet:

Dinamik yükleme altındaki zeminlerde sıvılaşma nedenli deformasyonlara sıkça rastlanılmaktadır. Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin belirlenebilmesi için ayrıntılı inceleme yapılması gerekmektedir. Sıvılaşma olayının önceden tahmini için arazi testlerinin yanı sıra laboratuvarda testleride gerçekleştirilmektedir. Sıvılaşma potansiyelinin gevşek kumlar ve siltli kum zeminler için yüksek olduğu bilinmektedir. Ancak, son yıllarda diğer zemin tipleri olan killer ve çakılların sıvılaşma potansiyelleri üzerine deneysel çalışmalar sürmektedir. Bu çalışmada, Eskişehir il merkezinde sıkça rastlanılan kohezyonlu zeminlerin sıvılaşma potansiyeli laboratuvar ölçekli sarsma tablası testi ile belirlenmiştir. Çalışma sonucunda; zemin numunelerinde dinamik yükleme sırasında aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu gözlenmemiştir. Ancak, numunelerde yumuşama ve oturmalar tespit edilmiştir.

Anahtar Kelimeler: Kohezyonlu zeminler, sıvılaşma, sarsma tablası testi.

Determination of Liquefaction Potential of Eskisehir Cohesive Soils

Abstract:

Deformations induced liquefaction is frequently encountered in soils under dynamic loading. Detailed investigation is required to find out liquefaction potential of the soils. Laboratory tests is carried out as well as field tests for predicting the liquefaction. It is known that the liquefaction potential of loose sands and silty sand soils is high. However, experimental studies on the liquefaction potentials of the other soil types of clay and gravel have been carried out in recent years. In this study, liquefaction potential of cohesive soils which is commonly in the city center of Eskisehir were determined with laboratory scale shaking table test. At the results; the generation of excessive pore water pressure has not been observed during the dynamic loading of soil samples. However, softening and settlements were found in the samples.

Key words: Cohesive soils liquefaction, shaking table test.

1. Giriş

Sıvılaşma, depremler sırasında etkiyen dinamik yükler nedeniyle meydana gelmektedir. Boşluk suyu basıncı artışı ile birlikte efektif gerilme kayıpları oluşmaktadır. Gevşek siltli kumlar sıvılaşmaya karşı aşırı duyarlı olup, bu tip zeminlerde sıvılaşma ile birlikte aşırı deformasyonlar oluşabilmektedir. Sıvılaşma geoteknik deprem mühendisliği içerisinde karmaşık problemlerden

*Corresponding author: Address: Faculty of Engineering, Department of Civil Engineering Sakarya University, 54187, Sakarya TURKEY. E-mail address: caglar@sakarya.edu.tr, Phone: +902642955752

biridir. Sıvılaşmanın ilk aşaması olarak aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu tanımlanmaktadır. Özellikle doygun kohezyonsuz zeminlerde hızlı yükleme ile birlikte aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu meydana gelmekte ve efektif gerilme azalmakta ve hatta sıfırlanmaktadır. Sıvılaşma iki aşamalıdır: akma sıvılaşması ve devirsel hareketlilik olarak iki gruba ayrılmaktadır [1]. Devirsel hareketlilik, akma sıvılaşmasına göre daha geniş bir zemin ve saha koşullarında meydana gelmektedir. Hem akma sıvılaşması, hem devirsel hareketlilik zeminlerde büyük deformasyonlara sebep olmaktadır. Sıvılaşma nedeniyle yapıların zemin içerisine batması, yan yatması gibi durumlar geçmişten günümüze sıkça görülmüştür. Şekil 1’de 1999 Kocaeli depremi sırasında sıvılaşma nedeniyle yan yatmış bir bina verilmiştir.



Şekil 1. 1999 Kocaeli depremi sırasında meydana gelen sıvılaşma örneği

Sıvılaşma potansiyeli, zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı, dinamik yükün büyüklüğü ve olası hasarların araştırılması ile ortaya konulmalıdır. Sıvılaşma potansiyelinin belirlenebilmesi için bölgenin depremselliği, jeolojisi ve zeminin yapısının bilinmesi gerekmektedir [1]. Zemin yapısının sıvılaşma duyarlılığı ise boşluk oranı, dane çapı, dane şekli ve gradasyonu gibi özelliklerinin bilinmesi ile tanımlanabilmektedir.

Sıvılaşma potansiyeli birçok farklı yöntem ile belirlenebilmektedir. Bu yöntemler, laboratuvar ortamında gerçekleştirilen sıvılaşma deneyleri, arazi test sonuçlarının değerlendirilmesi veya büyük ölçekli model testleri olarak sıralanabilir. Arazi testleri ile büyük hacimli zemin örnekleri test edilebilmektedir, ancak laboratuvar deneyleri ise zaman ve ekonomi açısından daha verimlidir. Arazi testleri olarak; sismik yansıma, kuyu yukarı, kuyu içi gibi testlerin yanı sıra SPT, CPT gibi testlerde kullanılmaktadır. Laboratuvar deneyleri olarak ise rezonans kolon, bender eleman, dinamik üçeksenli, dinamik kesme, burulmalı kesme deneyleri olarak sıralanmaktadır. Model testleri ise sarsma tablası ve santrifüj testleri olarak uygulanmaktadır.

Sıvılaşmaya karşı gerekli önlemlerin alınabilmesi için zeminin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi gerekmektedir. Sıvılaşma üzerine çalışmalar 1930’larda Casagrande tarafından başlatılmış, ancak popülaritesini 1970’lerde Seed, Idriss ve Ishihara’nın çalışmalarından sonra artırmıştır. Gratchev vd. [2] çalışmalarında sıvılaşma potansiyeli ile zemin mikro yapısı arasındaki ilişkiyi araştırmışlardır. Elgamel vd. [3] tarafından sıvılaşma potansiyelinin nümerik yöntemler ile tahmini çalışılmış ancak deneysel veri ihtiyacı vurgulanmıştır. Yang ve Elgamel [4] sıvılaşma potansiyeli belirlenmesinde zemin permeabilitesine dayalı için bir korelasyon üzerinde

çalışmışlardır. Hwang vd. [5] lös tipi zeminlerin sıvılaşma potansiyeli üzerindeki faktörleri araştırmışlardır. Bird vd. [6] sıvılaşma potansiyeli ve hasar riski tespitine yönelik nümerik bazlı yeni bir metodoloji üzerinde çalışmışlardır. Kevin vd. [7] istatistiksel verilerin kullanılarak üç boyutlu analiz içeren yeni bir sıvılaşma tahmini içeren yöntem önermişlerdir. Yuan ve Tadunbu [8] yeni bir eşitlik geliştirip sıvılaşma sonucu oluşabilecek deformasyonları tahmin etmişlerdir. Ishihara ve Cubrinovski [9] sıvılaşma için zemin yoğunluğu ve rölatif sıkılık derecesinin en önemli faktörlerden olduğunu 1995 Kobe depremi verilerini kullanarak ortaya koymuşlardır. Thevanayagam ve Martin [10] sıvılaşma potansiyelinin azaltılması için zeminlerin kompaksiyona tabi tutulmasını önermişlerdir. Yang ve Sato [11] deprem kuvveti, deprem doğrultusu ve bileşenlerinin sıvılaşma oluşumu üzerine etkilerini araştırmışlardır. Chang [12] deprem sırasında meydana gelen titreşim ile boşluk suyu basıncı oluşumunu ölçmeye yönelik yeni bir arazi test sistemi geliştirmiştir. Yunmin vd. [13] tarafından numuneler üzerinde dinamik üç eksenli testleri uygulanmış ve sıvılaşma tahmini üzerine çalışılmıştır.

Geçmiş çalışmalardan anlaşılacağı üzere, sıvılaşma potansiyelinin belirlenebilmesi için çeşitli zemin özelliklerinin bilinmesinin yanı sıra saha koşullarına özel testlere de ihtiyaç duyulmaktadır. Kumlu zeminlerin sıvılaşmaya karşı duyarlılığı bilinmekte olmasına karşın, son yıllarda kil ve çakıllar üzerine çalışmalar devam etmektedir. Bu tip zeminlerin depremler sırasında sıvılaşma benzeri davranış eğiliminde buldukları ve bu olgunun nasıl tanımlanacağı tartışılmaktadır. Özellikle, kohezyonlu zeminler için sıvılaşma kriterleri üzerinde yoğun bir araştırma süreci devam etmektedir.

Plastik olmayan siltlerin testler sırasında sıvılaştığı gözlemlenmiştir ve plastisitenin sıvılaşma davranışı üzerinde en önemli etken olduğu rapor edilmiştir [1]. Benzer şekilde çakıllarda gradasyona ve dinamik yüklemeye bağlı olarak sıvılaşmaya karşı hassaslık olduğu çeşitli çalışmalarda belirtilmiştir. Killerde ise sıvılaşma benzeri deformasyonlar ve yumuşama gözlemlendiği ve sahaya özgü çalışmalar gerektiği ifade edilmektedir. Günümüzde killerin sıvılaşma potansiyeli değerlendirmesinde Çin kriterleri yaygın olarak kullanılmaktadır. Çin kriterlerinde sıvılaşma potansiyeli killerin dane boyutu, likit limit, plastisite ve doğal su içeriğine bağlı olarak tanımlanmıştır. Kriterlerde, kil miktarı % 10 dan az, likit limit % 35'e eşit veya düşük ve doğal su içeriği likit limit değerinin %90'ından büyük ise sıvılaşma potansiyelinin olduğu verilmiştir. Ayrıca, kil miktarının % 20 dan fazla olduğu koşullarda sıvılaşma potansiyelinin olmadığı ancak % 10 ile % 20 arası değerler için ilave çalışmalar gerektiği davranışın dinamik yüklemeye de bağlı olarak değiştiği son çalışmalarda ortaya konmuştur.

Bu çalışmada Eskişehir ilinden elde edilen ancak çok fazla veri bulunmayan kohezyonlu zemin numunesinin sıvılaşma potansiyeli laboratuvar ölçekli sarsma tablası testi ile tayin edilmiştir.

2. Malzeme ve Yöntem

2.1. Malzeme

Deneyler için Eskişehir il merkezinden elde edilen kohezyonlu zeminler kullanılmıştır. Eskişehir 2. derece deprem bölgesinde olup, geçmiş depremlerde zemin deformasyonları görüldüğüne dair

raporlar bulunmaktadır. Çalışmada kullanılan zemin numunelerinin elde edilen parametreleri Tablo 1’de gösterilmiştir.

Tablo 1. Zemin Parametreleri

Tanımlama (USCS)	CL
Çakıl	% 10
Kum	% 25
Silt & Kil	% 65
Doğal Birim Hacim Ağırlık	19 kN/m ³
Likit Limit	33
Plastisite İndeksi	12

2.2. Test Ekipmanı

Laboratuvar ölçekli sarsma tablası deney aleti ile testler gerçekleştirilmiştir. Sarsma tablası deney aleti ile deprem yüklemesi simüle edilebilmekte ve zemin davranışı gözlemlenebilmektedir. Kullanılan laboratuvar ölçekli sarsma tablası deney aleti Şekil 2’de verilmiştir. Sistem bilgisayar kontrollü olup, bir deprem verisi doğrudan verilebildiği gibi, deprem yüklemesi parametreler girilerek de oluşturulabilmektedir.



Şekil 2. Laboratuvar ölçekli sarsma tablası

2.2. Test Detayları

Deney programı hazırlanarak, en gevşek halde yerleştirilen zemin numuneleri üzerine farklı ivme ve çevrim sayıları etki ettirilmiştir. Tam doygun olarak yerleştirilen zemin numunesi üzerine 50 kPa lık düşey gerilme rijit bir ağırlık ile etki ettirilmiştir. Test programının detayları Tablo 2’de verilmiştir.

Tablo 2. Test Parametreleri

Test No	İvme (m/s ²)	Çevrim Sayısı
1	0,1	5
2	0,1	10
3	0,3	5
4	0,3	10

3. Sonuçlar

Gerçekleştirilen sarsma tablası testleri sonucunda, elde edilen veriler Tablo 3’de gösterilmiştir. Testler sırasında aşırı boşluk suyu basıncı oluşmadığı gözlemlenmiştir. Ancak, testlerde farklı oturma miktarları meydana geldiği tespit edilmiştir. Özellikle, kohezyonlu zemin numunesinin boşluklarda bulunan suyun hareketini engelleyerek sıvılaşmanın meydana gelmesini engellediği ancak, zeminde yumuşama oluştuğu ve düşey yük nedeniyle oturma meydana geldiği sonucuna varılmıştır. Oturma miktarı üzerinde ivme ve çevrim sayısının etkisinin olduğu tespit edilmiştir.

Tablo 3. Test Sonuçları

Test No	Gözlem
1	0,55 cm oturma ancak, aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu yok
2	0,80 cm oturma ancak, aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu yok
3	1,30 cm oturma ancak, aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu yok
4	2,50 cm oturma ancak, aşırı boşluk suyu basıncı oluşumu yok

4. Değerlendirme

Sıvılaşma depremler sırasında karşılaşılan önemli zemin problemleri arasındadır. Sıvılaşma nedeniyle meydana gelecek deformasyonlara karşı tedbir alabilmek için sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi gereklidir. Yüksek kil yüzdesine sahip zeminlerde aşırı boşluk suyu basıncı oluşmamakta ve dolayısıyla sıvılaşma meydana gelmemektedir. Ancak, dinamik yükleme altında yumuşama ve oturmalar meydana gelmektedir. Bu çalışmada kil yüzdesi bilinmeyen kohezyonlu zeminlerin sıvılaşma potansiyeli laboratuvar ölçekli sarsma tablası deneyi ile belirlenmeye

çalışılmıştır. Numune içerisinde kil miktarı nedeniyle sıvılaşma gözlemlenmemiş ancak, yumuşama ve oturma tespit edilmiştir.

Sıvılaşma potansiyelinin daha fazla deney ile tanımlanmasının gereği açıktır. Ayrıca, sıvılaşmanın tespit edilmesi halinde gerekli tedbirlerin alınması, olası deformasyonların önüne geçilmesi için büyük önem taşımaktadır. Bu çalışma, belirtilen koşullar ve ölçüler içerisinde gerçekleştirilmiş olup, ölçek etkisi, deney sistemi gibi faktörler düşünülerek yorumlanmalıdır.

Teşekkür

Bu çalışma Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu tarafından kabul edilen 1705F331 nolu proje kapsamında desteklenmiştir. Yazar, bu destek için Anadolu Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Komisyonu'na teşekkürlerini sunmaktadır.

Kaynaklar

- [1] Kramer SL, Geotechnical earthquake engineering, Prentice Hall, 1996.
- [2] Gratchev IB, Sassa K, Osipov VI, Sokolov VN, The liquefaction of clayey soils under cyclic loading, Engineering Geology, 2006; 86: 70-79.
- [3] Elgamal A, Yang Z, Para E, Computational modelling of cyclic mobility and post-liquefaction site response, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2002; 22: 259-268.
- [4] Yang Z, Elgamal A, Influence of Permeability of Liquefaction-Induced Shear Deformation, ASCE, 2002; 128: 720-732.
- [5] Hwang H, Wang L, Yuan Z, Comparison of liquefaction potential of loess in Lanzhou, China and Memphis, USA, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2000; 20: 389-398.
- [6] Bird JF, Brommer JJ, Crowley H, Pinho R, Modelling liquefaction-induced building damage in earthquake loss estimation, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2005; 26: 15-26.
- [7] Kevin M, Dawson L, Baise G, Three-dimensional liquefaction potential analysis using geostatistical interpolation, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2005; 25: 369-380.
- [8] Yuan D., Tadunbu S, A practical numerical method for large strain liquefaction analysis of saturated soils, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2004; 24: 251-265.
- [9] Ishihara K, Cubrinovski M, Characteristics of ground motion in liquefied deposits during earthquakes, Journal of Earthquake Engineering, 2005; 9: 1-16.
- [10] Thevanayagam S, Martin GR, Liquefaction in silty soils-screening and remediation issues, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2002; 22: 9-23.
- [11] Yang J, Sato T, Savidis S, Li XS, Horizontal and vertical components of earthquake ground motions at liquefiable sites, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, 2002; 22: 229-246.
- [12] Cheng W, Development of an in situ dynamic liquefaction test, Ph.D dissertation, Texas U., 2002.
- [13] Yunmin C, Han K, Ren-peng C, Correlation of shear wave velocity with liquefaction resistance based on laboratory tests, Soil Dynamics and Earthquake Eng., 2005; 25: 461-469.