

SİLTLERDE SIVILAŞMANIN DENEYSEL İNCELENMESİ

Nazile URAL
Arş. Grv.
Sakarya Üniversitesi
Sakarya/Türkiye

Akın ÖNALP
Prof. Dr.
İstanbul Kültür Üniversitesi
İstanbul/Türkiye

Ertan BOL
Yrd. Doç. Dr.
Sakarya Üniversitesi
Sakarya/Türkiye

ÖZET

Zeminlerin statik yüklemeler altında davranışında tam anlaşılamamış konulara ilave olarak deprem gibi çok değişkenli bir etkiyle beliren kayma gerilmelerinin zeminin davranışını etkileyeceği ortadadır. Deprem sonucu görülen kumlarda sıvılaşma ile ilgili konularda bir uzlaşma varken siltli zeminlerin sıvılaşma yeteneği ile ilgili bir fikir birliği henüz sağlanamamıştır. Bu çalışmada farklı kil yüzdesinde siltli zeminler hazırlanarak, laboratuvarında dinamik üç eksenli deney uygulaması yapılmıştır. Bu deney sonuçları ile ince daneli zeminlerin sıvılaşma hassaslığının belirlenmesinde kullanılan kriterlerin ne denli uyumlu olduğu irdelenmiştir. Buna göre, siltlerde başlangıç sıvılaşması ile çevrimsel hareketlilik ayırımı henüz tam olarak yapılamadığından mevcut kriterlerin her durumda uygulanabilir olmadığı görüşü ağırlık kazanmaktadır.

AMAÇ

Bu çalışma kapsamında, bugüne kadar siltlerin dinamik davranışıyla ilgili yapılan çalışmalar derlenmiş ve farklı araştırmacıların yaptığı sıvılaşma ve çevrimsel hareketlilik tanımları arasındaki farklılıklar gösterilmiştir. Dinamik deney sonuçlarından elde edilen dinamik gerilme oranı (*CSR*, *cyclic stress ratio*,) ve çevrim sayısı (*N*) arasındaki ilişkinin, farklı kil yüzdelilerindeki siltler için araştırılması ve elde edilen bulguların ince daneli zeminlerin sıvılaşma hassaslığının belirlenmesinde kullanılan kriterlerle karşılaştırması bu çalışmanın diğer amacını oluşturmaktadır.

GİRİŞ

Kumlar ve killerin statik ve dinamik davranışları geçmişte birçok araştırmacı tarafından incelenmiştir. Siltlerin sıvılaşması ile ilgili çalışma sayısı ise oldukça azdır. Deprem sırasında siltli zeminlerin sıvılaşma yeteneği ile ilgili bu belirsizlik ilgiyi bu yöne çekmektedir.

Terzaghi 1925 yılında, boşluk suyu basıncının artmasıyla yarı kararlı bir yapıya sahip olan doymuş, kohezyonsuz zeminlerin akma oturmalarından söz ederek, sıvılaşmanın ilk tanımlarından birini yapmıştır (1). Güncel anlamda sıvılaşma bilinci ancak 1964 Niigata ve 1964 Alaska depremleriyle gündeme gelmiştir. 1984'e kadar yapılan çalışmalarda sıvılaşmanın sadece doymuş kohezyonsuz zeminlerle sınırlı olduğu düşünülmekte ve kohezyonlu zeminlerin genelde sıvılaşmaz olduğu kabulü yapılmıyordu (2). 1976 Haicheng ve Tangshan depremlerindeki sıvılaşmanın siltli kumlarda ve siltlerde de görülmesi üzerine bundan sonra ince daneli zeminler üzerinde de çalışmalar yapılmaya başlanmıştır. 1999 Kocaeli depreminde Adapazarı'nda görülen zemin yenilmelerinin kaynağı olarak siltler gösterildiği için bu zeminler mercek altına alınmıştır (3, 4, 5).

SIVILAŞMA TANIMI

Sıvılaşma sözcüğü, suya doymuş gevşek kumlu zeminlerde dinamik etki ile boşluk suyu basınçlarının hızla yükselmesi ve efektif gerilmelerin sıfıra inmesi olarak tanımlanmaktadır (2). Bu tanıma göre, zeminin kayma direnci kaybolmakta ve zemin sıvı gibi davranmaktadır. Kısaca, zemin tabakalarına deprem veya bir başka sismik kuvvet geldiğinde kum daneleri arasındaki denge bozulmakta, inceleri de su ile birlikte yukarıya hareket ederek zemin yüzeyine çıkabilmektedir. Castro (1975) çalışmasında sıvılaşmayı, önceden tanımlanan gevşek kumlardaki klasik sıvılaşma ve dinamik üç eksenli/dinamik basit kesme deneyleri sırasında oluşan çevrimsel hareketlilik olarak ikiye ayırmıştır. Dinamik yükleme sırasında, hacim azalması nedeniyle gevşek kumlarda boşluk suyu basıncının aniden arttığını ve boşluk suyu basıncının efektif gerilmeyi sıfıra düşürdüğünü, çevrimsel hareketliliğin dinamik yükleme altındaki sıkı kumlarda pozitif boşluk suyu basıncının gelişmesinin danelerin yer değiştirmesine ve hacmin azalmasına sebep

olduğunu söylemiştir (1). Kramer (1996), sıvılaşma olayını akma sıvılaşması ve çevrimsel hareketlilik olarak ikiye ayırmaktadır. Akma sıvılaşmasını, bir zemin kütlesinin statik dengesi için gerekli kayma gerilmesinin zeminin sıvılaşmış haldeki kayma dayanımından büyük olduğu durum olarak tanımlarken, çevrimsel hareketliliği ise statik kayma gerilmesinin, sıvılaşmış zeminin kayma dayanımından küçük olduğu durum olarak tanımlamıştır (2).

SİLTLERİN DİNAMİK DAVRANIŞI

Bugüne kadar yapılan çalışmalarda siltlerle ilgili çalışmalarda bir birlik ve bütünlük olmasa da azımsanmayacak çalışmalar yapılmıştır. Erken ve Ansal (1989) çalışmasında siltli kum veya kumlu siltten oluşmuş tabii zemin tabakalarının sıvılaşabilirliğini hem çeşitli yöntemlere göre hem de dinamik üç eksenli deney sonuçlarıyla incelemiştir. Siltli kumlarda farklı değerlerdeki CSR ile yapılan deneylerde sıvılaşmanın görüldüğü çevrim sayıları ile dinamik gerilme oranları karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma sonucu dinamik gerilme oranı büyüdükçe sıvılaşma direnci için gerekli çevrim sayısının azaldığını gözlemlemişlerdir (6). Sandoval (1989) düşük plastisiteli siltlerde boşluk suyu basıncının hücre basıncına eşit oluncaya kadar aşamalı olarak , kumda ise ilk çevrimlerde boşluk suyu basıncının aniden arttığını gözlemlemiştir. İnce üniform kum ve düşük plastisiteli siltin ön sıvılaşmasının %5 ve %10 çift yönlü eksenel boy değişiminden önce oluştuğunu, düşük plastisiteli siltin yenilmesi için gerekli çevrim sayısının ise ince kuma göre daha fazla olduğunu gözlemlemiştir (7). Stewart ve Hussein (1993), plastik olmayan siltin sıvılaşma eğilimini kil oranının artışına bağlı olarak incelemiştir. %0 ve %10 kil içerikli siltin fazla boşluk suyu basıncının gelişiminin aynı, %20 kil içerikli siltte fazla boşluk suyu basıncının gelişiminin farklı bir eğilimde olduğunu gözlemlemişlerdir. Plastik siltlerde çevrimsel hareketliliğin önemli boşluk suyu basıncı gelişimi kaydedilmeden önce, plastik olmayan siltlerin boşluk suyu basıncı gelişiminin ise temiz kumda olduğu gibi önce boşluk suyu basıncı oranının %100 değerine ulaştığı, aşırı birim boy değiştirmelerin daha sonra gözlemlendiğini söylemişlerdir (8). Andrews (1997), plastik siltlerde önemli boşluk suyu basınçları kaydedilmeden önce çevrimsel hareketliliğin geliştiğini, plastik olmayan siltlerin boşluk suyu basıncı artışının temiz kumla aynı olduğunu gözlemlemiştir (9). Puri ve diğerleri (1999) düşük plastisiteli silt numunelerinde, boşluk suyu basıncının efektif konsolidasyon basıncına eşit olmadığı halde büyük eksenel deformasyonlar

gözlemlendiğini söylemişlerdir (10). Kaya ve diğerleri (2002) çalışmalarında Adapazarı zeminlerinin dinamik mukavemet özelliklerini belirlemek için araziden alınan örselenmemiş silt, kil ve siltli kum numuneler üzerinde dinamik üç eksenli deneyleri yapmıştır. Yaptıkları çalışma sonucu Adapazarı zeminlerinin düşük dinamik kayma gerilmesi oranlarında sıvılaşmakta veya göçmekte olduğunu söylemişlerdir (11).

Öte yandan, siltlerin dinamik üç eksenli deneyde sıvılaşma yenilmesi tanımı birçok araştırmacı tarafından eksenel deformasyon genliği ile yapılmıştır. Chang ve diğerleri (1982), kil içerikli düşük plastisiteli siltlerde sıvılaşma yenilmesini %10 çift yönlü eksenel deformasyon genliği olarak tanımlamışlardır (12). Koester (1994), farklı plastisiteye sahip siltlerde sıvılaşma yenilmesini, %100 boşluk suyu basıncı gelişimi veya %2.5 çift yönlü eksenel deformasyon genliği olarak tanımlamıştır (13). Prakash ve Puri (2003), silt ve kil-silt karışımların sıvılaşmasını, boşluk suyu basıncı oranının %100 olması veya dinamik deformasyonun %20 çift yönlü eksenel deformasyon genliğinde tanımlamışlardır (14).

KULLANILAN MALZEME VE DENEY SİSTEMİ

Kullanılan Malzeme

Bu çalışmada TS1500/2000'e göre aynı sınıfa (ML) ait numuneler incelenmiştir. Tablo 1' de bu çalışmada kullanılan numunelerin fiziksel özellikleri verilmiştir. Şekil 1'de kullanılan numunelerin dane dağılımı eğrileri verilmiştir.

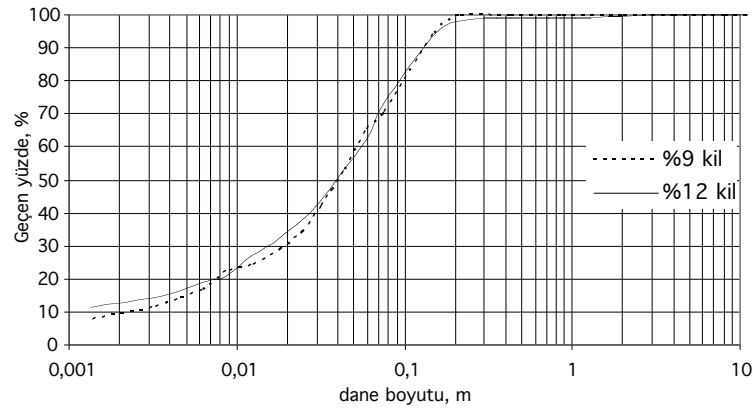
Deney Sistemi

Üç eksenli hücre kesme deneyi zeminin statik şartlar altındaki özelliklerini belirlemede ne denli yaygınsa dinamik üç eksenli deneyi de(CTX) zeminin dinamik özelliklerini belirlemede o denli yaygın olarak kullanılmaktadır. Bu çalışmada kullanılan dinamik üç eksenli deneyi bilgisayar kontrollüdür ve bu cihazın ana bileşenleri Şekil 1' de gösterilmiştir.

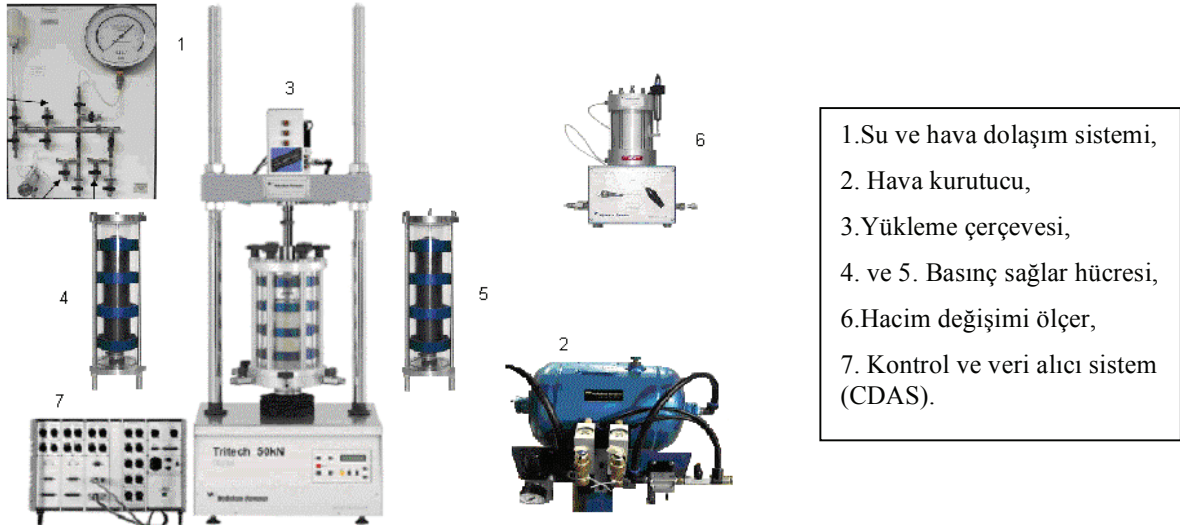
Tablo 1. Dinamik üç eksenli deneyde kullanılan numunelerin fiziksel özellikleri

Numune No	w_L (%)	w_P (%)	w_n (%)	% ınce	$<5\mu$	$<2\mu$	D_{50} mm	Gs
1	NP	NP	28	71	16	9	0.040	2.69
2	31	NP	28	73	17	12	0.040	2.66

Burada w_L : likit limit, w_P : plastik limit, w_n : doğal su içeriđi, D_{50} : ortalama dane boyutu



Şekil 1. Kullanılan numunelerin dane dağılımı



Şekil 2. Dinamik üç eksenli deney sistemi

Bu sistemde, efektif konsolidasyon basıncının, geri basıncın, monotonik veya dinamik fonksiyonların kullanılma kolaylığı bulunmaktadır. Düşey yükleme Şekil 2(3)' de gösterildiği gibi hava basınçlı (*pnömatik*) olarak yapılmaktadır. Deney sırasında istenen efektif konsolidasyon basıncı ve geri basınç su içinde havayla şişirilen membranlar sayesinde sağlanmaktadır. Kontrol ve veri toplayıcı sistemi, deney sırasında elde edilen

verilerin ASCII formatına saklanmasına ve gerekli grafiklerin elde edilebilmesine olanak sağlamaktadır (Şekil 2-7).

NUMUNE HAZIRLANMASI VE DENEYLERİN YAPILMASI

Numune Hazırlanması

Laboratuvar deneylerinde, zeminlerin doğal şartlar altındaki davranışını gözlemleyebilmek için dikkatli bir şekilde araziden alınmış örselenmemiş numunelerin gerekliliği bilinmektedir. Kum ve siltlerde örselenmemiş numune almak oldukça zor ve pahalı olduğundan dolayı bu tür zemin örnekleri laboratuvarında yeniden numune hazırlama yöntemlerinden en uygun olanı seçilmektedir. Araştırmacılar, farklı zemin birikimlerini incelemeleri nedeniyle laboratuvarında farklı numune hazırlama yöntemleri geliştirmişlerdir (15, 16, 17). Laboratuvarında numune hazırlanırken kuru yağmurlama, ıslak tokmaktama, suda çöktürme ve bulamaç çökeli ile hazırlama yöntemleri kullanılmaktadır.

Özellikle Adapazarı gibi akarsu/göl ortamlarında çökelmiş çok genç zeminlerin geoteknik özelliklerinin belirlenmesinde numune hazırlama yönteminin seçimi oldukça önemlidir. Bol (2003), Adapazarını oluşturan alüviyal dolgunun kentin merkezinden geçen eski nehir yataklarının etrafında gelişen taşkın ovası çökelleri ile şekillendiğini belirtmiştir. Bu eski kanallarda akan nehrin taşkın anlarında setlerinin yırtarak alçak bölgelere doğru ince kum ve silt katmanlarını yığdığını ve sıvılaşmanın da bu bölgelerde (Tıgıcılar ve Yenigün Mahalleleri) hakim olduğunu söylemiştir (3). Bu nedenle, Adapazarı zeminlerini en iyi temsil eden hazırlama yöntemi olarak bulamaç çökeli yöntemi seçilmiştir. Bulamaç çökeli ile hazırlama yönteminin standardı bulunmamaktadır. Bu çalışmada işleme likit limit değerinin 1.5 katı kadar damıtık su ile kuru numunenin karıştırılması ile başlanır. Bir gece bekletilen karışım bulamaç çamuru hücresine yerleştirilir. İlk aşamada çok zayıf olması nedeniyle çamur hücre içine yerleştirildikten sonra bir gün kendi ağırlığı altında çökmesi için bekletilir. İzleyen gün hedeflenen konsolidasyon basıncına uygun artışlarla erişilmek üzere kademeli yüklemeye başlanır. Konsolidasyon işlemi tamamlandıktan sonra numune dondurucuya koyularak beklenir.

Deneylerin Yapılması

Bulamaç çökeli ile hazırlanan silindirik numuneler, dodurucudan çıkarılıp dinamik üç eksenli deney hücresine yerleştirilir ve hücre damıtık su ile doldurulur. Erimesi için numune 24 saat bekletilir ve bu süre sonunda deneye başlanır. Dinamik üç eksenli deneyi ASTM D5311'e göre yapılmaktadır. Deneye başlamadan önce numuneye uygulanması öngörülen titreşim dalga tipi (kare, sinüzoidal...), yükleme frekansı, numune boyutları, yapılacak deneyin standartı ve bir çevrimde istenen veri sayısı gibi bilgiler seçilir. Bundan sonra doyurma aşamasına geçilir. Doyurma işlemi hücre basıncı ile geri basıncın kademeli olarak arttırılmasıyla yapılmaktadır. Her kademe değişikliğinde boşluk suyu basıncının dengeye gelmesi beklenir ve bu aşamalarda B parametresinin artışı gözlenir. $B=0.95-1.00$ değerlerine ulaştığında konsolidasyon aşamasına geçilir. Bu çalışmada, efektif konsolidasyon basıncı 100 kPa olarak kullanılmıştır. %100 konsolidasyon tamamlandıktan sonra numuneye dinamik yükleme yapılır. Deney başladıktan sonra dinamik yük, boşluk suyu basıncı ve birim boy değiştirmeler CDAS tarafından bilgisayara gönderilir ve kaydedilir. Bu çalışmada, sıvılaşma $M= 7\frac{1}{2}$ büyüklüğünde bir depremde 15. çevrimde boşluk suyu basıncı oranının %100 değerine ulaşması olarak belirlenmiştir.

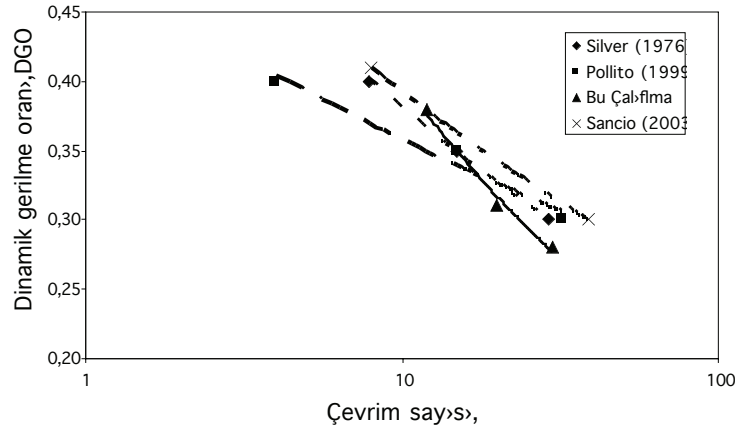
DENEY SONUÇLARI VE SIVILAŞMA KRİTERLERİYLE KARŞILAŞTIRMA

Deney Sonuçları

Bu çalışmada ince daneli zeminlerin uygulmasından önce deney cihazı Monterey No:0 kumuyla kalibre edilmiştir. Yapılan deneylerin doğruluğunu karşılaştırmak için Silver'in, 1976'daki çalışmalarında kullandığı değerler kullanılmıştır. Yükleme frekansı 1Hz, hücre basıncı 100 kPa olarak kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlar daha önce Monterey standard kumu üzerinde kalibrasyon işlemi yapmış araştırmacıların bulguları ile karşılaştırıldığında, elde edilen eğrilerin çakıştığı Şekil 3'de görülmektedir (18, 19, 20).

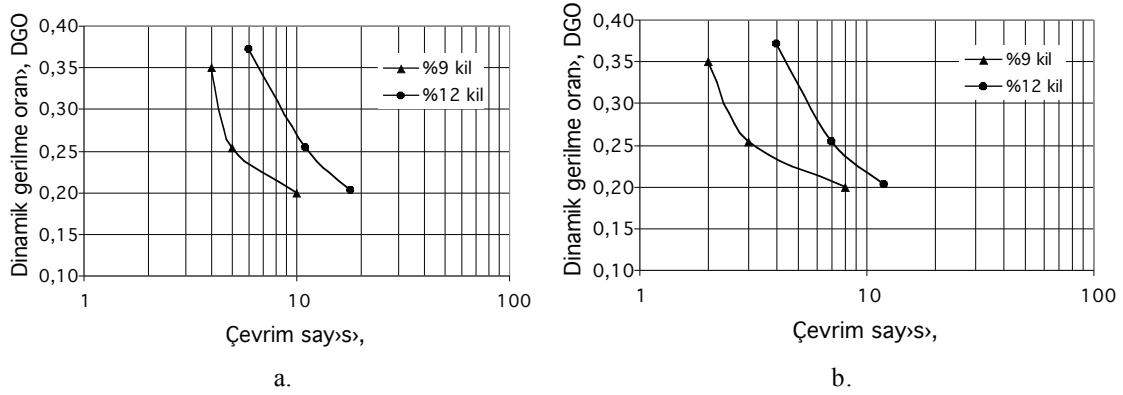
Farklı kil yüzdelere sahip zemin numuneleri (ML) üzerinde, boşluk suyu basıncı efektif konsolidasyon basıncına eşit oluncaya kadar, diğer bir deyişle zeminde sıvılaşma meydana gelinceye, kadar dinamik yükleme devam ettirilmiştir. Deneyler 0.35, 0.25, 0.20

ve 0.15 gibi farklı dinamik gerilme oranlarında uygulanmıştır. Yapılan deney sonuçlarına göre dinamik gerilme oranı ve çevrim sayısı arasındaki beliren ilişki şekil 4’de verilmiştir.



Şekil 3. Monterey kumunda dinamik gerilme oranı ile çevrim sayılarının karşılaştırılması

Bu çalışmada genel olarak, sıvılaşmanın olması için gerekli çevrim sayısının, uygulanan dinamik kayma gerilmesi oranı azaldıkça arttığı, kil yüzdesi arttıkça dinamik direncin arttığı ve %5 çift yönlü eksenel deformasyon genliğine ulaşması için gerekli çevrim sayısında uygulanan dinamik gerilmesi oranı azaldıkça arttığı gözlemlenmiştir.



Şekil 4. a. Boşluk suyu basıncı oranının %100 değerine ulaşması için gerekli çevrim sayısı –DGO, b. %5 çift yönlü eksenel birim boy değişim için gerekli çevrim sayısı - DGO

%9 kil yüzdesine sahip zemin karışımında dinamik gerilme oranı CSR 0.35, 0.25 ve 0.20 ve %12 kil yüzdesine sahip zemin karışımı CSR değeri 0.35, 0.25 değerlerinde boşluk suyu basıncı oranı %100 değerine ulaşırken, %12 kil yüzdesinde CSR= 0.20 değerinde boşluk suyu basıncı oranı %100 değerine ulaşamamaktadır. Bununla birlikte, %12 kil yüzdesine zemin karışımının CSR= 0.20 değerinde %5 çift yönlü eksenel deformasyon genliğine ulaştığı görülmektedir.

Deney Sonuçlarının Sıvılaşma Kriteriyle Karşılaştırılması

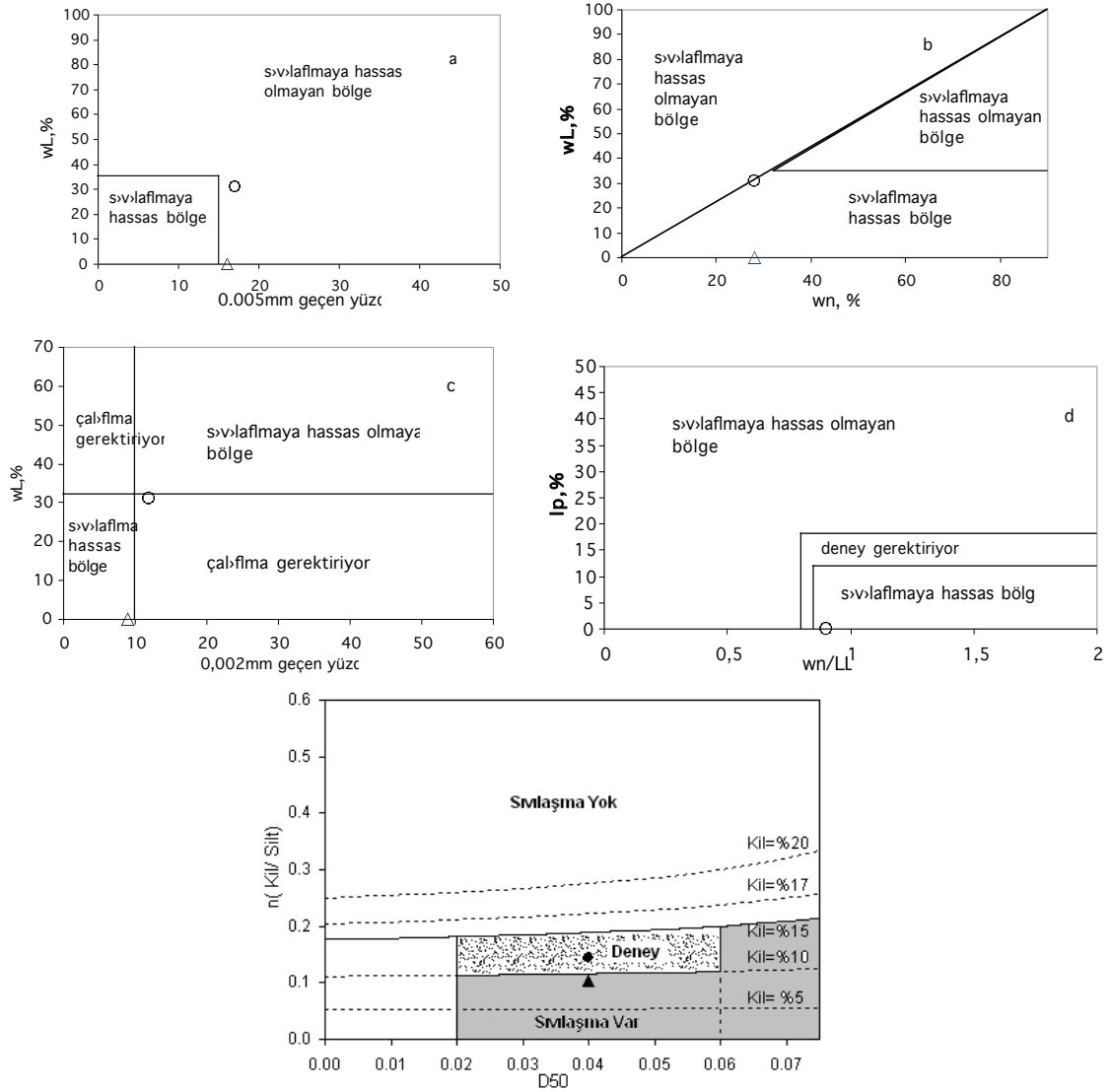
İnce daneli zeminlerin sıvılaşma hassaslığı, kullanımı en genel biçimiyle Wang (1979)'ın önerdiği Çin Kriteri ile belirlenmektedir. Bu kritere göre bir siltin sıvılaşabilmesi için likit limitinin (w_L) < 35 , kil yüzdesinin (5μ) < 15 ve $w_n/w_L \geq 0.90$ olması gerekmektedir (w_n = su muhtevası) (21). Dinamik üç eksenli deneyleri yapılan ince daneli zeminlerin Çin kriterine göre sıvılaşp sıvılaşmadığı Şekil 5.a ve b'de karşılaştırılmış ve %9 kil yüzdesine sahip zemin karışımının Çin kriteriyle uyumlu olduğu, %12 kil yüzdesine sahip zemin karışımının ise sıvılaşan ve sıvılaşmayan bölgelerin sınırında yer aldığı görülmektedir.

Andrews ve Martin (2000), sıvılaşma hassaslığının, kil yüzdesi (2μ) ve likit limit (w_L) parametreleri ile belirlenebileceğini söylemişlerdir. Bu kritere göre bir siltin sıvılaşp sıvılaşmadığı bu parametrelerin belirli değerleri için verilmiştir; $w_L < 32$, kil yüzdesi $< \%10$ ise sıvılaşmaya hassas, $w_L < 32$, $C \geq \%10$ ise ek çalışma gerekiyor, $w_L \geq 32$, kil yüzdesi $< \%10$ ise ek çalışma gerekiyor, $w_L \geq 32$, kil yüzdesi $\geq \%10$ ise sıvılaşmaya hassas değildir (22). Dinamik üç eksenli deneyleri yapılan ince daneli zeminlerin bu kritere göre sıvılaşp sıvılaşmadığı Şekil 5.c'da karşılaştırılmış ve her iki numunenin dinamik üç eksenli deney sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir.

Bray ve Sancio (2006) ince daneli zeminlerin sıvılaşma hassaslığını plastisite indisi (I_p) ve w_n/w_L ile yargılamışlardır. Bu kritere göre bir siltin sıvılaşp sıvılaşmadığı; $I_p \leq 12$ ve $w_n \geq 0.85 w_L$ ise sıvılaşma hassaslığının olduğu, $12 < I_p < 18$ ve $w_n \geq 0.80 w_L$ ise sıvılaşmaya kısmen hassas olduğu ve $I_p > 18$ ve $w_n < 0.80 w_L$ ise sıvılaşma hassaslığının olmadığı, şeklinde ifade edilmektedir (4). Dinamik üç eksenli deneyleri yapılan zeminlerden, %12 kil içerikli zeminin özellikleri bu kriter üzerinde gösterilebiliyorken likit limiti ve plastik limiti belirlenemeyen %9 kil içerikli zeminin özellikleri bu kriter üzerinde gösterilememektedir (Şekil 5.d).

Önalp ve diğerleri (2006) sıvılaşmayı belirlemede siltlerin içerisindeki kil oranının yanında sıvılık indisi ve likit limitin de göz önünde bulundurulması gerektiğini ortaya koymuşlardır. Araştırmacılar, Y.A.S.S. altındaki silt ortamlarında ve $M_w > 7$ koşulunda sıvılaşmanın gerçekleşebilmesi için, sıvılık indisi (I_L) ≥ 0.9 , likit limit (w_L) ≤ 33 , kil yüzdesi $C \leq \%10$ ve ortalama dane boyutu (D_{50}) $> 0.02\text{mm}$ olması gerektiğini ifade etmişlerdir.

Ancak, siltlerin “ML” sınıfında ve likit limiti ölçülebilse dahi plastik limiti belirlenemeyen zeminlerde yukarıdaki sınıflama kriterleriyle bir karşılaştırma yapılamayacağından dolayı sınıflama sınırını “ $n_{\text{kil/silt}}$ ” ile “ D_{50} ” arasında daha ayrıntılı bir kriter önermişlerdir (5). Dinamik üç eksenli deneyleri yapılan zeminlerin bu kriterle sınıflaşmış sınıflanmadığı Şekil 5.e’de karşılaştırılmış ve her iki numunenin dinamik üç eksenli deney sonuçlarıyla uyumlu olduğu görülmektedir.



Şekil 5. Bu çalışmada kullanılan zeminlerin kriterler üzerindeki yeri a. ve b. Wang (1979) c. Andrews ve Martin (2000) d. Bray ve Sancio (2006) e. Önalp ve diğ. (2006)

△ %9 kil
○ %12 kil

SONUÇLAR

%9 kil yüzdesine sahip zemin karışımında CSR(DGO)= 0.35, 0.25 ve 0.20 değerlerinde boşluk suyu basıncı oranı %100 değerine ulaşmış ve numuneler sıvılaşmıştır. %12 kil yüzdesinde zemin karışımı CSR= 0.35, 0.25 değerlerinde boşluk suyu basıncı oranı %100 değerine ulaşmış ve sıvılaşma sağlanmış, CSR= 0.20 değerinde ise sıvılaşma belirmemekle birlikte çevrimsel hareketliliğe ulaşılmıştır.

Dinamik üç eksenli deneylerde kullanılan zeminler, fiziksel özelliklere dayalı sıvılaşma kriterleriyle karşılaştırılmıştır. Dinamik üç eksenli deneyi yapılan farklı kil yüzdesine sahip bu iki zeminin Çin kriteriyle ve Bray ve Sancio (2006) önerdiği kriterle uyumsuz olduğu görülürken, Andrews ve Martin (2000) ve Önalp ve diğ. (2006) kriterleriyle uyumlu olduğu görülmektedir. Özellikle likit limiti hesaplanamayan veya likit limiti hesaplanırsa dahi plastik limiti belirlenemeyen “ML” sınıfındaki zeminlerin sıvılaşma hassaslığı Önalp ve diğ (2006)’nın önerdiği kriterin daha iyi bir sonuç verdiği görülmüştür.

Buradan, ince daneli zeminlerin sıvılaşması için zeminin özellikleri yanında deprem şiddetinin de önemli rol oynadığı, ancak bu tür zeminlerde sıvılaşma’nın çevrimsel hareketlenmeden kolayca ayırtlanamayacağı görülmektedir. Çevrimsel hareketlenmede de zeminde aşırı boy kısaltmaları belirlediğinden kesin ayırımın çok da önem taşımadığı öne sürülebilmektedir. Nitekim Adapazarı’nda işlevini yitiren birçok binada sıvılaşmanın oluşmadığı, ancak aşırı oturmaların yine de hasar oluşturduğu gözlemlenmiştir.

KAYNAKLAR

1. Castro, G., “Liquefaction and Cyclic Mobility of Saturated Sands”, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol.101, No. GT6, 1975, s.551-569
2. Kramer, S. L., Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice-Hall, UpperSaddle River, NewJersey 1996
3. Bol E., “Adapazarı Zeminlerinin Geoteknik Özellikleri”, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İnşaat Mühendisliği, Adapazarı 2003
4. Bray, J.D. ve Sancio, R.B., “An Assessment of the Liquefaction Susceptibility of Fine-Grained Soils”, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 132, No. 9, September 2006, s. 1165-1177,

5. Önalp, A., Bol, E., Ural, N., “Siltlerin Sıvılaşılabirliği: Adapazarı Kriterinin Geliştirilmesi”, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Onbirinci Ulusal Kongresi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Trabzon 2006
6. Erken, A. ve Ansal, A., "Tabii Zemin Tabakalarının Sivilasması", Türkiye Insaat Mühendisliği 10. Teknik Kongresi, Cilt 2, 1989, sf.317-330
7. Sandoval, S.J., “Liquefaction and settlement characteristics of silts soils”, Doktora Tezi, Missouri Üniversitesi, 1989
8. Stewart, H.E. ve Hussein, A.K., “Undrained Cyclic Behavior of Silt”, US-Japan Workshop, Napa, CA, 7-9 June 1993
9. Andrews, D.C.A., “Liquefaction of Silty Soils: Susceptibility, Deformation, and Remediation”, Doktora Tezi, Southern California Üniversitesi, 1997
10. Puri, V.K. Das, B.M., ve Prakash, S., “Liquefaction of silty soils”, Proc. Second Int Conf on Earthquake Geotechnical Engg., Lisbon, Portugal, Vol. 2, 1999, s.619-623
- 11.Kaya, Z., Irisawa, T., Erken, A., Adapazarı zeminlerinin dinamik davranışı, Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği Dokuzuncu Ulusal Kongresi, Anadolu Üniversitesi, Eskişehir 2002, s. 220-227.
12. Chang, N.Y., Yeh,S.T. ve Kaufman, L.P., “Liquefaction Potantial of Clean and Silty Sands”, 3. International Earthquake Microzonation Conference Proceedings, Vol.2, Seattle 1982
13. Koester, J. P., “Cyclic Strength and Pore Pressure Generation Characteristics of Fine-Grained Soils”, Doktora Tezi, Colorodo Üniversitesi, 1992
- 14.Prakash, S. ve Puri, V.K., “Liquefaction of Silts and Silt-Clay Mixtures”, U.S.-Taiwan Workshop on Soil Liquefaction, National Chiao Tung University, Hsin-Chu, Taiwan, November 3-5, 2003
15. Mulilis, J.P., Arulanandan, K., Mitchell, J.K., Chan, C.K. ve Seed, H.B., “Effects of Sample Preparation on Sand Liquefaction”, Journal of the Geotechnical Engineering Division, 103(2), s. 91-108, 1977
16. Kuerbis, R. ve Vaid, Y.P., “Sand Sample Preparation- the Slurry Deposition Method”, Soils and Foundations, 28(4), s.107-118, 1998
17. Amini, F. ve Sama, K.M., “Behavior of Stratified Sand–Silt–Gravel Composites Under Seismic Liquefaction Conditions”, Soil Dynamics and Earthquake Engineering, s. 445-455, Volume 18, Number 6, 1999

18. Silver, M., Chan, C., Ladd, R., Lee, K., Tiedmann, D., Townsend, F., Valera, J., Wilson, J., Cyclic Strength Of Standard Test Sand, Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE, Vol. 102(5), 1976, s. 511-523,
19. Polito, C.P., The Effects Of Non-Plastic and Plastic Fines On The Liquefaction Of Sandy Soils, Doktora Tezi, Virginia Polytechnic Enstitüsü, 1999
20. Sancio, B. R., Ground failure and building performance Adapazarı, Turkey, Doktora Tezi, California Üniversitesi, Berkeley, 2003
21. Wang, W.S., "Some Findings in Soil Liquefaction", Research Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, Beijing, China 1979
22. Andrews, D. C. A. and Martin, G. R., Criteria for Liquefaction of Silty Soils, 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand Paper 0312, 2000