



**Makale
(Article)**

Depremler Sırasında Zeminlerin Sıvılaşması ve Taşım Gücü Kayıpları: Manisa (Saruhanlı) Örneği

Mehmet ORHAN¹, Ali ATEŞ

¹Gazi Üniversitesi, Teknik Eğitim Fakültesi, Yapı Eğitimi Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı, Beşevler-Ankara,
orhanm@gazi.edu.tr

²Şehit Osman AVCI mah. 43.Sok. No:67/8 Eryaman/Ankara, atesimatesim@yahoo.com.tr

Özet

Bu çalışma, Manisa (Saruhanlı) ilçesinde, alüvyal zeminlerin sıvılaşmadan kaynaklanan taşıma gücü kayıplarının, belirlenmesini içermektedir. İlçenin yaklaşık 33 km güneyinde ve 150 km uzunluğundaki "Gediz Grabeni Fay Zonu"nun, bölgeyi etkileyebileceği varsayılarak, araştırmaya esas alınmıştır. Bu fay zonunun, olası bir depremde 1/3'nün kırılacağı tahmin edilerek, moment magnitudü 7,1 ve 0,28 g büyüklüğünde yatay deprem ivmesi oluşturabileceği hesaplanmıştır. Devamında sıvılaşma risk haritası hazırlanmıştır. Risk haritasına göre sıvılaşan lokasyonlardan, numuneler alınmıştır. Laboratuvarında arazi şartlarına uygun deney numuneleri hazırlanarak arazide maruz kaldıkları efektif jeolojik yüke eşit oranda konsolide edilmiş ve gerilme kontrollü devrinsel yükler sinüzoidal olarak uygulanmıştır. Boşluk suyu basıncı oluşumunu kontrol edebilmek için bütün deneyler 0,5 Hz yükleme frekansında yapılmıştır. Burada beklenen senaryo depremine göre bu çalışma çerçevesinde öncelikle kum, silt ve killerin deprem yükleri altında nasıl bir davranış göstereceği üzerinde durulmuştur. İkinci aşamada düşük plastisiteli siltler ile kumların sıvılaşma analizinin nasıl yapılacağı gösterilmiştir. Son aşamada ise plastik silt ve killerin dinamik yükler altında yumuşaması sonucu taşıma gücünün nasıl etkilendiği incelenmiştir.

Anahtar Kelimeler: Devrinsel üç eksenli deney, S-Dalgası, Saruhanlı, sıvılaşma risk haritası

The Liquefaction of Soils and Loss of Bearing Capacity During Earthquake: Manisa (Saruhanlı) case study

Abstract

This study includes determination of the loss of bearing capacity of Manisa (Saruhanlı) region. It was predicated that Gediz Graben Fault Zone was a length of 150 km and approximately passes through in a distance of 33 km in the south of Saruhanlı District. In a probable earthquake effect, Gediz Graben would be cracked 1/3 of the total length and it could produce as $M_w=7,1$ and $a_{max}=0,28$ g. The liquefaction analysis was performed and liquefaction map was prepared. The samples were obtained from site according to liquefaction map and reconstituted in laboratory. They were subjected to stress-controlled cyclic loads according to cyclic stress ratio obtained from site conditions consolidating to stress which was exposed to influence of geological overburden in-situ field stress. The whole tests were performed at a frequency of 0,5 Hz. In the end, one region was liquefied and the other region was not liquefied. According to expected the scenario earthquake sand, silt and clay are evaluated how to behave under the seismic loads within the framework of this study. In the second stage the liquefaction analyze of low plasticity silts and sands are emphasized how to perform. In the final stage it was emphasized how to affect the bearing capacity due to plastic silts and clay softening under dynamic loads.

Keywords: Cyclic triaxial test, Shear wave velocity, Saruhanlı, liquefaction hazard map

Bu makaleye atf yapmak için

Orhan M., Ateş A., "Depremler Sırasında Zeminlerin Sıvılaşması ve Taşım Gücü Kayıpları: Manisa (Saruhanlı) Örneği" *Yapı Teknolojileri Elektronik Dergisi* 2011, 7(1) 52-70

How to cite this article

Orhan M., Ateş A., "The Liquefaction of Soils and Loss of Bearing Capacity During Earthquake: Manisa (Saruhanlı) case study" *Electronic Journal of Construction Technologies*, 2011, 7(1) 52-70

1. GİRİŞ

Depremler sırasında suya doymuş gevşek yerleşimli kum ve düşük plastisiteli yumuşak siltlerde sıvılaşma gözlenirken plastik silt ve killerde deprem sonrası statik mukavemetlerinde azalmalar (taşıma gücü kaybı) meydana gelmektedir. Bunun sonucu olarak kum ve düşük plastisiteli siltlerde sıvılaşma sırasında zeminin taşıma gücü tamamen ortadan kalkarken yumuşak plastik silt ve killerde taşıma gücünde önemli ölçüde azalma gözlenmektedir [1]. 17 Ağustos 1999 günü meydana gelen 7.4 büyüklüğündeki depremde zeminlerin sıvılaşması ve yumuşaması zeminde büyük deformasyonların oluşmasına ve bunun sonucu olarak da taşıma gücü kayıplarına neden olmuştur. Bunun sonucunda deprem bölgesinde temel zeminine bağlı yapısal hasarlarda büyük artış olduğu görülmüştür. Zemin kaynaklı yapısal hasarlar özellikle Gölcük kıyıları ve Marmara Denizi kıyılarında, Sapanca Gölü çevresinde ve Adapazarı şehrinin ova üzerine yerleşmiş bölümünde oluşmuştur. Deprem sırasında oluşan sıvılaşmadan dolayı derin çatlaklar, aşırı oturmalar, yanal yayılmalar ve taşıma gücü kayıpları yaygın olarak görülmüştür. Yapıların bir kısmı tamamen yıkılırken bazı yapılar ise sıvılaşmadan dolayı oturmuş, dönmüş veya zemine batmıştır. Zeminlerin sıvılaşabilirliği tane boyutu ve dağılımı yanında, jeolojik yaşı ve çökme koşulları, başlangıç sıklık derecesine bağlı hacim değişim potansiyeli ve su geçirgenliği gibi özellikleri yanında depremin büyüklüğü, süresi uzaklığı gibi sismik faktörlere de bağlıdır [2]. Uygun olmayan temel zemini koşulları ve bu zeminlere göre tasarlanmayan yapılardan dolayı Marmara bölgesindeki birçok yerleşim yeri ağır yapısal hasara uğramıştır. Benzer olaylar $M_w=6.8$ büyüklüğünde olan 1967 Adapazarı depreminde de meydana gelmiştir. Zemin kaynaklı yapısal hasarlar sınırlı da olsa 1992 Erzincan, 1995 Dinar ve 1998 Ceyhan depremlerinde de oluşmuştur. Japonya ve Alaska'da 1964 yılında büyüklüğü 7 den büyük depremlerde meydana gelen sıvılaşma ve sıvılaşmaya bağlı yanal yayılmalar nedeni ile suya doymuş kumlu zeminlerin dinamik yükler altındaki davranışları laboratuvar deneyleri ile yoğun bir şekilde araştırılmaya başlanmıştır.

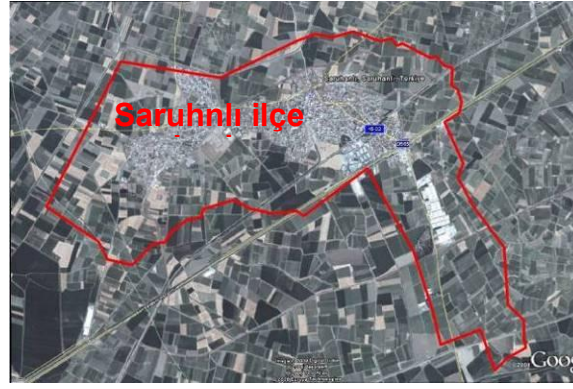
Bu çalışmada, Manisa/Saruhanlı ilçesinin imar planlaması kapsamında, İller Bankası tarafından gerçekleştirilen jeolojik-jeoteknik etüt çalışmaları kapsamında elde edilen Kayma dalgası hızları (sismik) verileri kullanılarak, bölgede yapılması planlanan yapıların oturtulacağı temellerin alüvyal zeminlerde, sıvılaşma riski ve yerleşime uygunluk durumu değerlendirilmiştir. Bu amaçla, bölgenin jeolojisinden, depremselliğinden, olası deprem odaklarının uzaklığı ile oluşturacakları yer ivmesi ilişkilerinden, zemine ait granülometri değerlerinden ve sismik verilerden yararlanılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır ve suya doymuş siltli kumların, düşük plastisiteli siltlerin ve yumuşak killerin dinamik yükler altındaki gerilme-şekil değiştirme ve boşluk suyu basıncı davranışlarından bahsedilmiştir. Devamında ise Iwasaki vd.'nin [3] kriterleri baz alınarak sıvılaşma risk haritası hazırlanmıştır. Son aşamada yumuşak killerde dinamik yükleme sonucu mukavemet kayıpları ve buna bağlı olarak taşıma gücü kayıplarının nasıl oluştuğu anlatılmıştır.

2. MATERYAL ve METOT

2.1. Materyal

2.1.1. Çalışma Alanının Tanımlanması

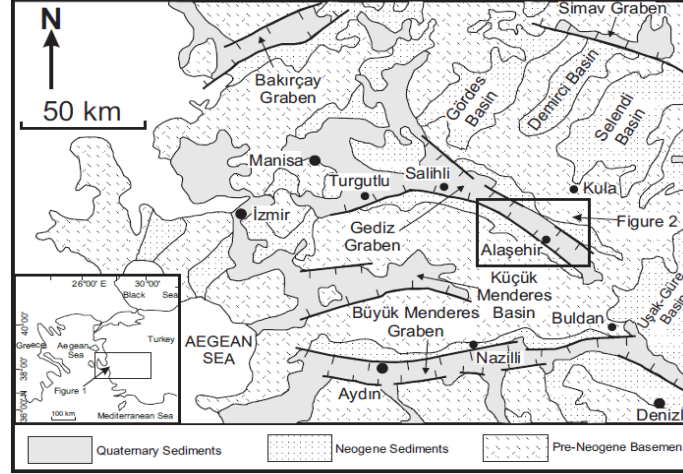
Saruhanlı İlçesi Manisa-Balıkesir karayolu üzerinde, Manisa il sınırları içindedir. Çalışma sahasının sınırlarını gösteren bir uydu görüntüsü Şekil 1'de verilmiştir. İlçe Manisa'nın kuzeyinde, il merkezine 19 km mesafededir. Yerleşim alanı ve çevre morfolojisi düz alanlardan meydana gelmektedir. İlçenin içinden geçen Kara Çay Deresi kısmen ıslah edilerek T11 tahliye kanalı olarak kullanılmaktadır. Gediz Nehri ise çalışma sahasının güney sınırından geçmektedir (Şekil 1).



Şekil 1. Çalışma sahasının sınırlarını gösteren bir uydu görüntüsü

2.1.2. Bölgenin Jeolojisi

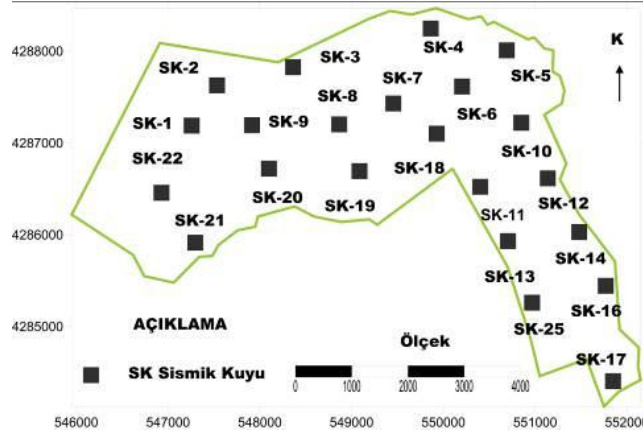
Türkiye'nin batısında Gediz grabeni en belirgin ve gelişmiş graben havzasına sahiptir [4]. Gediz grabeni bölgesinde yer alan kaya birimleri temel Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı kırıntılı, karbonatlı sedimentler kayalar ile filiş ve içerisindeki ofiyolitik ve mafik volkaniklerden oluşmaktadır. Neojen ise; volkanik, sedimentler ve plütonik kaya türleri ile temsil edilmektedir (Şekil 2). Menderes masifine ait olan metamorfik kayalar Neojen öncesi taban formasyonu ve horst bloklarının üzerinde yer alan 2000 metre yüksekliğe kadar uzanan formasyonlardan oluşmaktadır [4]. Graben dolgusu Neojen öncesi metamorfik kayaların üzerinde yer almaktadır. Gediz grabeni dolgusu ise parçalanabilir kıtasal göl ve nehir çökelleri orijinli miosenlerden oluşmaktadır [5].



Şekil 2. Saruhanlı ve çevresi Gediz ve Büyük Menderes grabenlerinin jeolojisi ve tektoniği [6]

2.1.3. Arazi verileri

Çalışmada, sıvılaşma potansiyeli hesaplamasında, Manisa (Saruhanlı) ilçesinde Şekil 3'de gösterildiği gibi arazide yerinde yapılan sismik (kayma dalgası hızı) veriler kullanılmıştır [7].



Şekil 3. Arazide yapılan sismik kuyu ölçüm verileri dağılımı

2.1.5. Deney Cihazı ve Yazılımlar

Bu çalışmada, Arazi verilerinin sıvılaşma potansiyel hesaplamaları, **Liç IT V.4.7.3** Geologismiki [8] yazılımı kullanılmıştır. Laboratuvar numunelerinden faydalanarak sıvılaşma potansiyelinin değerlendirilmesinde ise, devirsel yükleme kabiliyetine sahip “**Dinamik Üç Eksenli Test Cihazı**” kullanılmıştır (Şekil 4).

Deney düzeneği; düşey statik yük kapasitesi 500 kgf ve hücre basıncı dayanımı 1000 kN/m² hidrolik basınca kadar ulaşmaktadır. Dinamik sinüzoidal düşey yük yükleme kapasitesi ±2000 N'dur. Devirsel deneyler gerilme kontrollü olarak yapılabilmektedir. Dinamik deneylerin kapasitesi 0,1 ila 2 Hz arasında ayarlanabilmektedir. Sistemde zemin numunesine uygulanan çevre, düşey ve geri basınçlar aşamalı olarak regülatörlerle ayarlanabilmektedir. Ayrıca geri basınç sistemine yerleştirilmiş vakum regülatörü ve vakum saati numuneye uygulanacak vakum ayarlamasına imkan sağlamaktadır. Deney sırasında deney ünitesine bağlanmış elektronik algılayıcılarla deplasman ölçer, yük ölçer ve boşluk suyu, geri ve çevre basıncı ölçerlerden gelen elektrik sinyalleri, ölçüm ve kayıt birimi tarafından alınmakta, istenen ölçek de grafik haline dönüştürülebilme imkanı vermektedir. Çalışmada, “**Devirsel Üç Eksenli Deney Düzeneği**”, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı Zemin Mekaniği Laboratuvarında bulunan (G.Ü. BAP Biriminin, Proje no. 07/2009-11 ile temin edilen), hidrolik güç kontrollü, maksimum 500 kgf devirsel yükleme kapasiteli SBA-500L markalı test cihazıdır (Şekil.4).



Şekil 4. Devirsel Üç Eksenli Deney Düzeneği

2.2. Metot

İller bankası tarafından hazırlanan rapordan alınan sismik veriler esas alınarak, Andrus ve Stokoe [9]'in Vs'yi esas alan yöntemine göre, LiqIT V.4.7.3 Geologismiki [8] yazılımı kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Bu analizlere göre, imara açık yapılaşma bölgesinde, sıvılaşma potansiyeli “**yüksek**” ve “**düşük**” özellikli bölgeler belirlenmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen sonuçlara göre imara açılacak bölgenin sıvılaşmaya bağlı oluşan risk alanları ortaya konulmuştur.

Bu bölgelerden alınmış örselenmiş ve örselenmemiş numunelerin laboratuvar deneyleri ile, zemin özellikleri belirlenecek, bu kriterlere göre arazi şartlarına uyumlu örnekler hazırlanarak, Dinamik Üç Eksenli deney cihazında, bölgede oluşması muhtemel deprem etkilerini yansıtacak sismik verilerin kullanılması ile deneyler yapılmıştır.

2.2.1. Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesindeki Kriterler

Çalışmada, sismik veriler Andrus ve Stokoe [9]'un Vs'yi esas alan yöntemine göre LiqIT v.4.7.3 Geologismiki [8] yazılımı kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarını esas alarak zeminlerin sıvılaşma dirençlerinin belirlenmesi, iki değişkenin hesaplanmasını gerektirmektedir, bunlar;

- Seed ve Idriss [10] Tarafından Geliştirilen “Basitleştirilmiş” Yönteme Göre Zemin tabakasındaki sismik talebi ifade eden devirsel gerilme oranı (DGO),
- Andrus ve Stokoe [9] yöntemine göre Zeminin sıvılaşmaya karşı direncini gösteren devirsel direnç oranı (DDO).

Depremin gücünü karakterize eden DGO'nın, zeminin direncini karakterize eden DDO'a oranı ise o zeminin sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısını vermektedir (Eş.1).

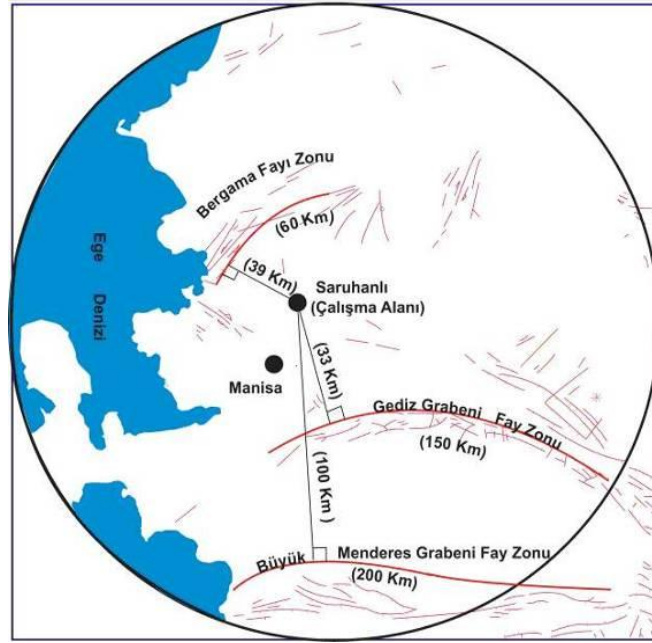
$$GK = \frac{DDO}{DGO} \quad (1)$$

Güvenlik faktörünün 1'den küçük olması o bölgenin sıvılaşma riski taşıdığını, güvenlik faktörünün 1'den büyük olması ise o bölgenin sıvılaşma riski taşımadığını göstermektedir.

4. Deprem Tasarım Parametrelerinin Hesaplanması

4.1. Deprem Magnitud Büyüklüğünün Hesaplanması

İnceleme sahasının yaklaşık 33 km güneyinden Gediz Grabeni fay zone, 100 km güneyinden Büyük Menderes fay zone ve 39 km kuzey-batısından Bergama fay zone geçmektedir (Şekil 5). Burada en yüksek ivme yaratabilecek fay zone, ilçenin 33 km güneyinden geçen Gediz Grabeni fay zone olduğu tespit edilmiştir. Deprem tasarım parametrelerinin bulunması için, çalışma alanını çevreleyen 100 km yarıçapında bir daire çizilerek, daire içinde kalan ve çalışma alanını etkileyebileceği düşünülen aktif sismik kaynaklara dik çizilerek bu sismik kaynakların çalışma sahasına en kısa mesafeleri kilometre (km) cinsinden ölçülmüştür (Şekil 5).



Şekil 5. Çalışma sahasına 100 km çap içinde bulunan sismik kaynakların belirlenmesi

Çalışma sahasında en yüksek ivme yaratabilecek olan Gediz Grabeni fay zonu, Mark [11] yaklaşımına göre olası bir depremde 1/3'nün kırılacağı yaklaşımıyla, olası tasarım depreminin moment büyüklüğü, Wells ve Coopersmith [12]'in eşitliği kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$M = 4,86 + 1,32 \log L \quad (2)$$

Burada; **M**: Moment büyüklüğü, **L**: Fay uzunluğu (km).

4.2. En Büyük Yatay Yer İvmesinin Hesaplanması

Sıvılaşma analizinde kullanılan en büyük yatay deprem ivmesi göz önüne alınan bölge için ya deprem riski analizlerinden hesaplanır veya o bölgedeki sismik özellikler dikkate alınarak azalım ilişkilerinden yararlanılıp o bölgede bir deprem sırasında olabilecek en büyük yatay yer ivmesi bulunur. Yaygın olarak kullanılan ivme hesaplama yöntemlerinden bazıları aşağıda verilmiştir.

4.2.1. Ulusay vd. (2004).Yöntemi

Yatay deprem ivmesi ise Türkiye'deki depremleri esas alan ve normal atımlı faylar için geliştirilen deprem atenasyon ilişkisi kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [13].

$$PGA = 2,18e^{0,0218(33,3M_w - R_e + 7,8427S_A + 18,9282S_B)} \quad (3)$$

Burada; yumuşak zeminler için $S_A=0$, $S_B=1$ alınır, R_e yerleşim alanından ilgili fay zonuna en yakın dikey mesafedir, M_w Deprem büyüklüğüdür.

Tablo 1. Deprem yerel zemin parametreleri

Deprem Parametreleri	Gediz Grabeni Fay Zonu	Büyük Menderes Fay Zonu	Zeytin Dağı-Bergama Fay Zonu
Fay Zonu Uzunluğu (Km)	150	200	60
İlçenin Fay Zonuna Dik Mesafesi (Km)	33	100	39
Moment Büyüklüğü (Mw)	7,1	7,27	6,57
İvme Büyüklüğü (PGA) (gal)	280g (0,28g)	115g (0,115g)	170g (0,17g)

Saruhanlı ilçesini etkileyeceği tahmin edilen ve bölgede bulunan faylar normal doğrultu atımlı faylardır, Olası bir depremde bu fay zonlarının 1/3'nün kırılacağı tahmin edilmektedir. Bu yaklaşıma göre bu fay zonlarının üretebileceği deprem moment magnitud ve ivme değerleri hesaplanmış ve Tablo 1'de verilmiştir.

Bu yaklaşıma göre Fay uzunluğunun, 1/3'nün kırılması durumunda, "Moment Büyüklüğü" 7,1, ve tasarım depreminin meydana getirebileceği "Yatay deprem ivmesi" 0,28g olarak hesaplanmıştır.

4.3. Sıvılaşma Potansiyeli İndeksinin Belirlenmesi ve Sıvılaşma Haritasının Hazırlanması

Güvenlik faktörü, geniş alanlar için göreceli bir değerlendirme yapılmasına ve sıvılaşma potansiyeli açısından sıvılaşma haritalarının hazırlanmasına doğrudan imkan vermemektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak, Iwasaki vd. [3] tarafından güvenlik faktörünü de içerecek şekilde "sıvılaşma potansiyeli indeksi" adı verilen bir parametre önerilmiştir. Burada Sıvılaşma indeksleri Iwasaki vd. [3]'in geliştirdiği yöntemle göre hesaplanmıştır. Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin derecelendirilmesinde Iwasaki vd. [3]'e göre hesaplanan sıvılaşma indeksleri Tablo 2'deki gibi sınıflandırılmıştır.

Tablo 2. Sıvılaşma potansiyeli indeksine (LI) göre sıvılaşma risk dereceleri [3]

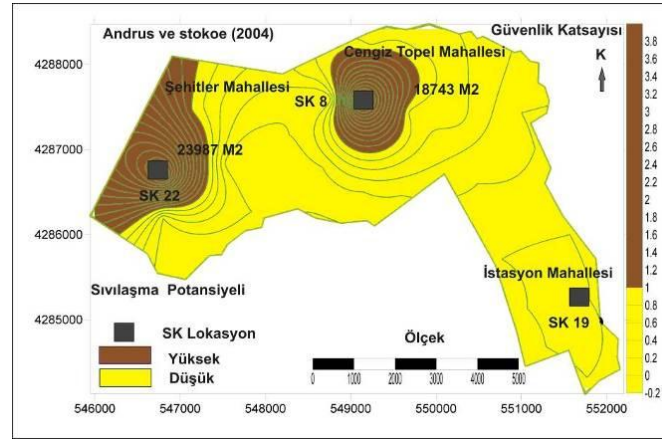
Sıvılaşma İndeksi (LI)	Sıvılaşma Potansiyeli
0	Çok az
0<LI<5	Az
5<LI<15	Yüksek
15>LI	Çok yüksek

Sıvılaşma analiz sonuçlarına göre elde edilen güvenlik katsayıları, Iwasaki vd. [3] yöntemine göre sıvılaşma indeksleri bulunmuş ve Tablo 3'de verilmiştir. Bundan sonra bu çizelgedeki indeksler yukarıda verilen (Tablo 2) sınır değerleri ile karşılaştırılarak Tablo 3'de verilen değerlere göre sıvılaşma haritası hazırlanmıştır (Şekil 6).

Sonuç olarak; Tablo 3 ve aşağıdaki haritaya (Şekil 6) bakıldığında SK-8 ve SK-22 nolu lokasyonların yüksek düzeyde, SK-19 nolu lokasyonun ise, düşük düzeyde sıvılaşma riski taşıyan bölgeleri temsil ettiği görülmektedir.

Tablo 3. Çalışma alanı için hesaplanan sıvılaşma indeksleri [3]

SERİ M No	Yeraltı Su Seviyesi (m)	İmar Bölgesi Koordinatlar		30 mt.ort Vs hızı	Andrus vd.(2004) Sıvılaşma İndeksi (LI)	Sonuç
		X	Y			
JF-1	3,3	549240	4288270	188	1,7	Az
JF-2	2,2	548480	4287920	177	2,62	Az
JF-3	3,3	549820	4288260	217	2,19	Az
JF-4	3,3	550070	4288260	232	3,16	Az
JF-5	3,4	550230	4287400	231	4,56	Az
JF-6	2,8	549710	4287430	196	1,52	Az
JF-7	2,8	549540	4286900	231	3,18	Az
JF-8	1,7	549120	4287570	211	5,51	Yüksek
JF-9	3,3	548280	4287170	217	2,2	Az
JF-10	3,25	548740	4287590	209	2,1	Az
JF-11	1,8	548670	4286790	189	1,39	Az
JF-12	2,45	551000	4287430	189	4,98	Az
JF-13	2,45	551160	4287010	206	2,63	Az
JF-14	5,2	550770	4285710	290	2,92	Az
JF-15	5,2	551570	4286000	208	0,66	Az
JF-16	3,3	550490	4286600	250	0,02	Az
JF-17	4	551070	4285130	280	0,74	Az
JF-18	4	551290	4284680	181	0,58	Az
JF-19	4	551800	4285230	281	0,04	Çok Az
JF-20	4,4	551770	4284320	243	0,41	Az
JF-21	3,3	549590	4286460	253	0,83	Az
JF-22	2,8	549150	4286500	376	5,62	Yüksek



Şekil 6. Andrus ve Stokoe [9] sismik yönteme göre bölgenin sıvılaşma haritası

4.4. Araziden Numune Alma ve Yer Seçimi

Yukarıdaki sıvılaşma haritasına (Bkz. Şekil 6) bakıldığında, 2 lokasyonun (SK-8, SK-22) yüksek ve 1 lokasyonun ise (SK-19) düşük düzeyli sıvılaşma potansiyeli derecelendirmesine göre 2 grup olarak Tablo 4'de olduğu gibi belirlenmiştir.

Tablo 4. Lokasyonların sıvılaşma derecelerine göre sınıflandırılması

Sıvılaşma Dereceleri	Lokasyon No	Numune Alma Grubu
Yüksek	SK -8 ve 22	1. Grup
Düşük	SK -19	2. Grup

Bu tespitlerden sonra, yer altı suyu seviyesinin başladığı 4-4,5 m dikkate alınarak 4-4,8m derinliğinde açılan gözlem çukurlarından UD (rselenmemiş) tüpleri ile sıvılaşma sınıflandırma gruplarını temsilen sıvılaşma riski taşıyan ve taşımayan noktalardan (SK-8, SK-22, SK-19) numuneler alınmıştır. Zeminlerin arazideki doğal ortam özelliklerini temel alarak laboratuvarında aynı özellikleri benzeştirecek şekilde numune hazırlanması gerekliliği yaklaşımıyla, alınan örselenmemiş numunelere, indeks deneyleri yapılmış ve sonuçları aşağıda Tablo 5’de verilmiştir. Bu değerlendirmelere göre zemin numuneleri, **siltli kum** zellikleri göstermektedir.

Tablo 5. Araziden Alınan Numunelerin Fiziksel zellikleri

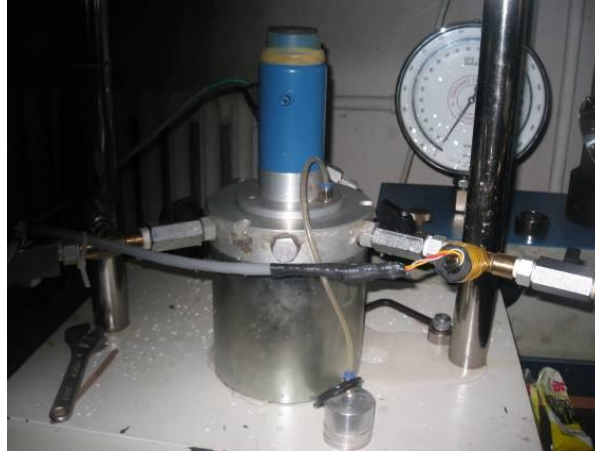
Zemin Numunelerinin İndeks zellikleri	Lok#8	Lok.#22	Lok#19
Numune Alma Derinliği, (m)	5	4,75	4,45
Doğal Su Muhtevası, w_n , (%)	35	38	33
Özgül Ağırlık, G_s	2,65	2,68	2,66
Likit Limitt, w_L , (%)	NP	NP	NP
Kil İçeriği (<0.005 mm), (%)	10,1	5	6
Boşluk Oranı, e (%)	1.024	1,10	1,11
Doygunluk Oranı, S_r (%)	97	93	85
Rölatif sıklık, D_r (%)	45	66	57
Zemin Sınıfı	SM-SC	SM	SM
Yer Altı Su Seviyesi, (m)	5	4,75	4,45
İnce Tane Oranı (<0.075 mm), (%)	34	17	36,3

5. NUMUNE HAZIRLAMA VE DEVİRSEL EKSENLİ DENEYLERİN YAPILMASI

5.1. Numune Hazırlanması

Numuneler, arazideki zeminlerin doğal yapısına ve özelliklerine benzeyecek şekilde (su muhtevası, boşluk oranı, rölatif sıklığı, birim hacim ağırlığı), laboratuvarında yeniden hazırlanmak amacıyla, çapı 38 mm ve yüksekliliği 76 mm olmak üzere, Ladd [14] tarafından ortaya konulan ıslak tokmaklama tekniğinden faydalanarak hazırlanmıştır.

Siltli kumlu numuneler hazırlandıktan sonra, cihaza yerleştirilirken bozulmalarını önlemek için, sıkıştırma kalıbı cihaz üzerine monte edilmiş ve numuneler sistem üzerinde hazırlanmıştır (şekil 7).

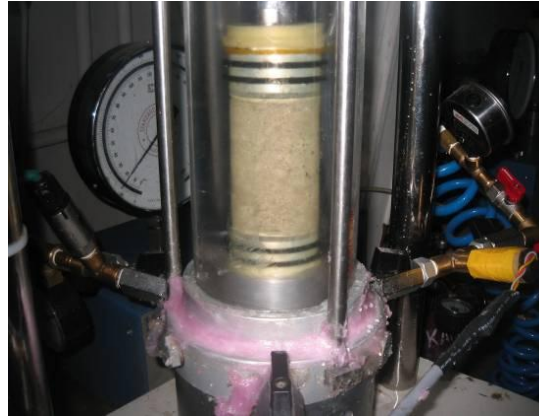


Şekil 7. Devirsel Üç eksenli deney numune hazırlanması

5.2. Devirsel Deneylerin Yapılması

Tekrarlı yükler altında zeminlerin dinamik davranışlarını belirlemek için dinamik üç eksenli deney sistemi kullanılmıştır. Deney aleti düşey yük yükleme kapasitesi 5000 N, hücrenin kapasitesi 1000 kN/m² hidrolik basınca kadar dayanıklıdır. Dinamik deneyler gerilme kontrollü olarak yapılmıştır.

Deney cihazı üzerinde hazırlanan numuneler dinamik üç eksenli deney hücresine yerleştirildikten sonra, devirsel üç eksenli deney hücresine yerleştirilip, numunenin doymuş hale getirilmesi için, 50 kN/m² çevre basıncıyla birlikte CO₂ (karbondioksit gazı) verilmiş ve numunelerin içinde hapsolmuş havayla CO₂ gazının yer değiştirilmesi sağlanarak, çevre basıncı 400 kPa, geri basınç 380 kPa şeklinde uygulanarak, hızlı ve güvenilir bir şekilde doyurulmaya çalışılmıştır (Şekil 8).



Şekil 8. Numunenin doyurulması ve dinamik yükleme hazırlanışı

Numune bu gerilme şartları altında uzun süre bekletilerek, en az % 95 doymuşluğa ulaştığında, geri basınç 380 kN/m², çevre basıncı 430 kN/m² yapılarak 50 kN/m²'lik efektif izotropik çevre basıncı altında konsolide edilmiştir. $\sigma_c = 50$ kPa konsolidasyon (jeolojik yük) basıncı altında konsolide edilmiş, zemin ortam ve numuneleri için hesaplanan farklı gerilme oranlarında ($\tau_d/\sigma_c = 0,31-0,33$) ve arazide oluşan deprem dalgalarını düzenli sinüs dalgaları formunda laboratuvarında temsil edecek titreşim frekansını seçerken ayrıca boşluk suyu basıncı oluşumunun verimliliğini yükseltmek için (yüzde % boşluk suyu basıncı) **f: 0,5 Hz** frekansında devirsel yüklemeler uygulanmıştır. Bu deney ASTM D 5311'e [15] göre yapılmıştır. Drenajsız olarak dinamik yükleme yapılırken; düşey deplasman ve boşluk suyu basıncı kaydedilmiştir.

Bu çalışma kapsamında zemin numunelerinin mukavemet davranışını incelemek amacıyla yapılmış olan gerilme kontrollü dinamik üç eksenli deneylerde farklı dinamik yük seviyelerinde zeminlerde göçme kriteri olarak aksenal birim deformasyon $\varepsilon = \pm 2.5$ veya boşluk suyu basıncı oranı $\Delta U / \sigma_c' = 1.0$ oluncaya kadar tekrarlı yükleme yapılmıştır.

Bu çalışmada kullanılan deney numunelerine ait gerekli parametreler hesaplanmış ve Tablo 6'da verilmiştir.

Tablo 6. Lokasyonlar için gerekli olan parametreler

Devirsel Üç eksenli Test Parametreleri	Deney Grubu 1		Deney Grubu 2
	SK-8	SK-22	SK-19
Lokasyonlar	SK-8	SK-22	SK-19
Rölatif Sıklık Oranı (RD), % (Laboratuvar)	45	66	57
Numune Miktarı, (M_S) (gr)	120,2	119,7	115,7
Su miktarı, (W) (gr)	41,9	41,7	38,1
Eşdeğer Gerilme Çevrim sayısı, $N_{E\dot{s}}$	14	14	14
DevirsekYük, (P_d) (kgf)	5,6	5,7	5,6
Maksimum Boşluk Oranı (e_{maks}), %	1,12	1,28	1,57
Boşluk Oranı (e), %	1,024	1,10	0,87
Devirsel Gerilme Oranı (DGO, τ_d / σ_c)	0,31	0,32	0,33
Frekans (Hz)	0,5	0,5	0,5
Minumum Boşluk Oranı (e_{min}), %	0,531	0,89	0,75
Laboratuvarda uygulanan Çevrim sayısı, N_{Lab}	40-50	40-50	40-50

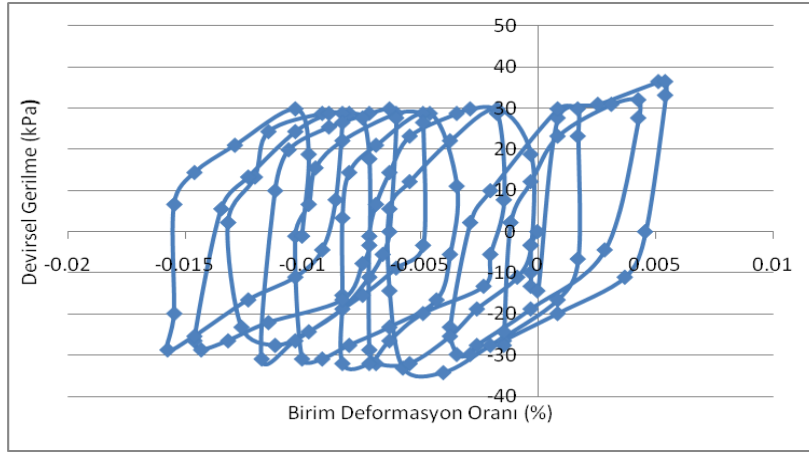
5.3. DENEY SONUÇLARI

5.3.1. Deney Grubu 1 Numunelerinin Deney Sonuçları

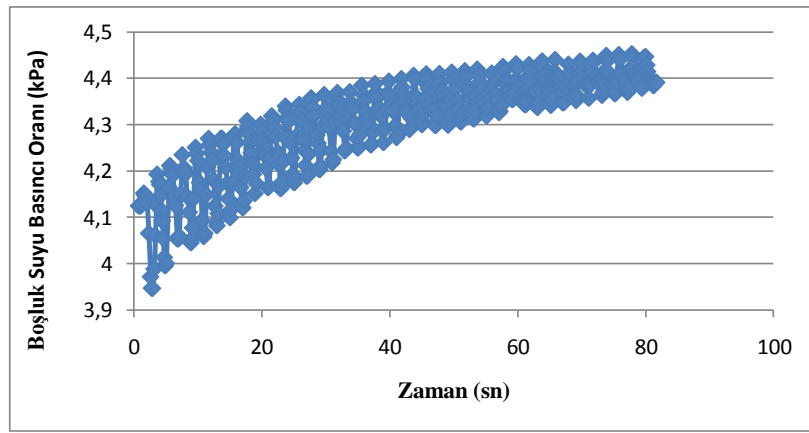
Burada deney grubu 1 olarak belirtilen numuneler SK-8 ve SK-22 nolu lokasyonları temsil etmektedir (Bkz. Tablo 4) ve bu noktalar sıvılaştığından dolayı risk kapsamına alınmış ve dinamik deneyler bu noktalardan alınan numunelere uygulanmıştır. Laboratuvarda bu lokasyonların her biri için ortalama 15 adet deney yapılmış ve örnek olarak birer adet deney sonucu aşağıda verilmiştir.

5.3.1.1. SK-8 lokasyonu deney sonucu

Yukarıda (Tablo 6) verilen, bu gruba ait parametrelere göre, çalışma alanından örselenmiş ve örselenmemiş olarak getirilen numunelerin rölatif sıklığı, $D_r = 0.45$ olarak bulunmuş olup, bu orana göre yeniden hazırlanarak doyurulan numunelere, devirsel gerilmeler, boşluk suyu basıncının ortalama efektif çevre basıncına eşit veya boşluk suyu basınçlarının sabitleştiği duruma erişinceye kadar uygulanmış ve deney çıktıları Şekil 9' da verilmiştir.



(a)



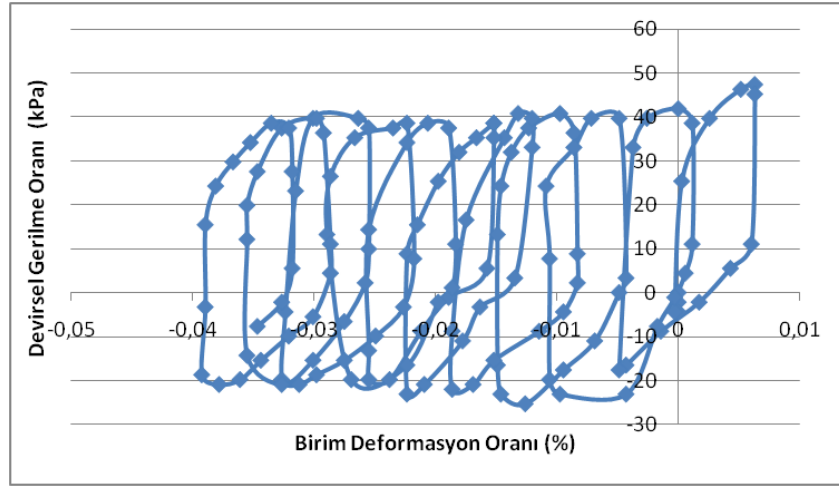
(b)

Şekil 9. SK-8 numunelerinin devirsel üç eksenli deney sonuçları; (a) devirsel gerilme ve birim deformasyon ilişkisi; (b) zaman ile boşluk suyu basıncı oranı ilişkisi

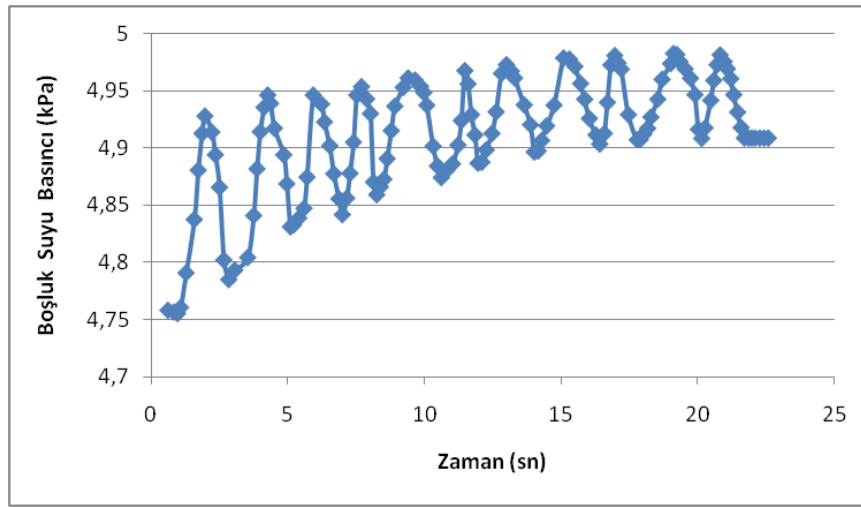
SK-8 nolu lokasyondaki doğal ortam referans alınarak parametreler hesaplanmış ve DGO devirsel gerilme oranı (τ_d/σ_c) 0.31, devirsel yük 5.6 kgf, frekans 0.5 Hz alınmıştır. Çevrim Sayısı; arazide 7.1 büyüklüğündeki bir deprem için hesaplanan eşdeğer çevrim sayısının (14), (Bkz. Tablo 5) üç (3) katı kadar olan (40 çevrim) sayısı yaklaşımla karşılaştırma yapılmak amacıyla numuneler sinüzoidal devirsel yüklemeye maruz bırakılmıştır. Bu gerilme seviyesinin tekrarı ile boşluk suyu basıncında ve birim şekil değiştirmelerde artışlar meydana gelmiştir. Deneyde uygulanan $N_{Lab}=26$. çevrim sonunda, diğer bir ifade ile eşdeğer çevrim sayısı $(40-26=14)$ $N_{Eş}=14$. çevrim sonunda boşluk suyu basıncı ($\Delta U/\sigma_c$) %90 seviyesine çıkmış ve efektif gerilmeye (konsolidasyon basıncına) eşit olmuş bunun sonucu olarak da zemin numunesi sıvılaşmıştır.

5.3.1.2. SK-22 lokasyonu deney sonucu

Yukarıda tabloda verilen değerlere göre (Tablo 6), bu gruba ait parametreler kullanılarak, çalışma alanından örselenmemiş ve örselenmemiş olarak getirilen numunelerin rölatif sıklığı, $D_r=0.57$ olarak bulunmuş olup, bu orana göre yeniden hazırlanarak doyurulan numunelere, devirsel gerilmeler (DGO), boşluk suyu basıncının ortalama efektif çevre basıncına eşit veya boşluk suyu basınçlarının sabitleştiği duruma erişinceye kadar uygulanmış ve deney çıktıları Şekil 10' da verilmiştir.



(a)



(b)

Şekil 10. SK-22 Numunelerinin devirsel üç eksenli deney sonuçları; (a) devirsel gerilme ve birim deformasyon ilişkisi; (b) zaman ile boşluk suyu basıncı oranı ilişkisi

Burada doğal ortam referans alınarak parametreler hesaplanmış ve DGO (τ_d/σ_c) **0.32**, devirsel yük **5.6 kgf**, frekans **0.5 Hz** alınmıştır. Çevrim Sayısı; arazide **7.1** büyüklüğündeki bir deprem için hesaplanan eşdeğer çevrim sayısının (**14**), (Tablo 5) üç (3) katı kadar olan (40 çevrim) sayısı yaklaşımla karşılaştırma yapılmak amacıyla numuneler sinüzoidal devirsel yüklemeye maruz bırakılmıştır. Suya doymun siltli kumlu zeminde boşluk suyu basıncı zamanla artmış ancak hiçbir zaman efektif çevre (konsolidasyon) basıncına eşit olamamıştır.

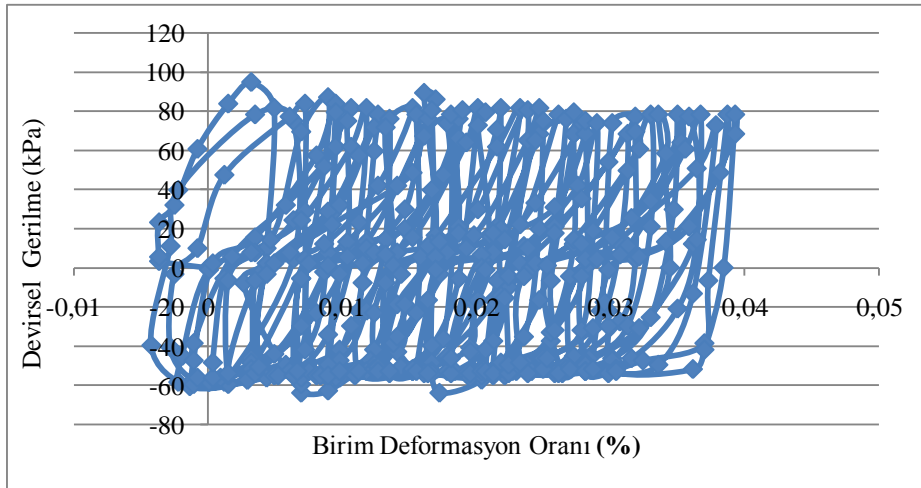
Çevrim sayısı 40 olduğunda ($N_{Lab}=40$), boşluk suyu basıncı ($\Delta U/\sigma_c$) 0,90 değerinin üzerine çıkmış ve zamanla bir miktar azalmıştır. Diğer yandan birim kayma deformasyonları (δ) zamanla artmış ve göçme ölçütü olan $\delta = \pm 2,5$ deformasyon derecesine kırk çevrimde ($N_{Lab}=40$, laboratuvarda uygulanan çevrim sayısı) ulaşabilmiştir. Bu gerilme seviyesinin tekrarı ile boşluk suyu basıncında ve birim şekil değiştirmelerde artışlar meydana gelmiştir. Deneyde uygulanan $N_{Lab}=26$. çevrim sonunda, diğer bir ifade ile eşdeğer çevrim sayısı ($40-26=14$) $N_{Eş} = 14$. çevrim sonunda boşluk suyu basıncı ($\Delta U/\sigma_c$) %90 seviyesine çıkmış ve efektif gerilmeye (konsolidasyon basıncına) eşit olmuş bunun sonucu olarak da zemin numunesi sıvılaşmıştır.

5.4. Deney Grubu 2 Numunelerinin Deney Sonuçları

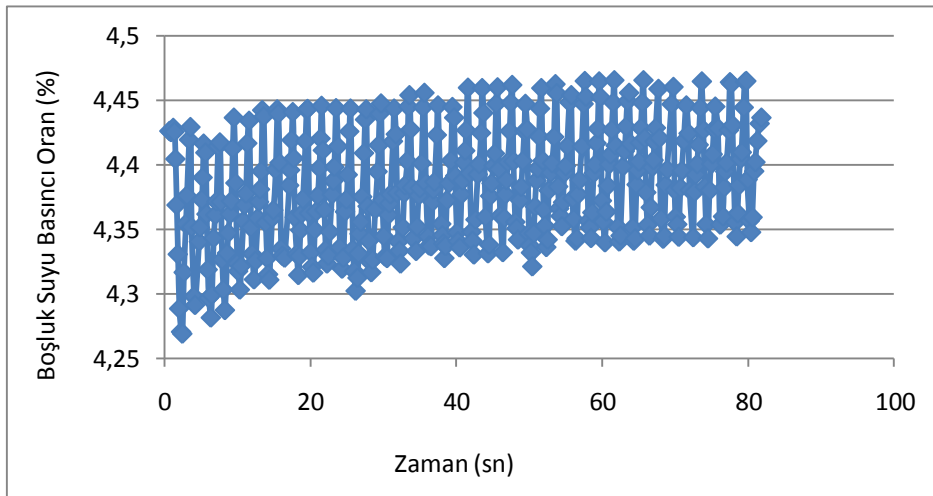
Burada deney grubu 2 olarak belirtilen numuneler SK-19 katogorisinde olan ve sıvılaştırma haritasında sarı renkli görülen (Şekil 6) lokasyonları temsil etmektedir (Tablo 4) ve bu noktalar düşük dereceli sıvılaştırma özelliği taşıdığından dolayı risk kapsamına alınmış ve dinamik deneyler bu noktalardan alınan numunelere de uygulanmıştır. Laboratuvarında bu lokasyonların her biri için ortalama 15 adet deney yapılmış ve örnek olarak birer adet deney sonucu aşağıda verilmiştir.

5.4.1. Plastik Siltlerde Taşıma Gücü Kaybı

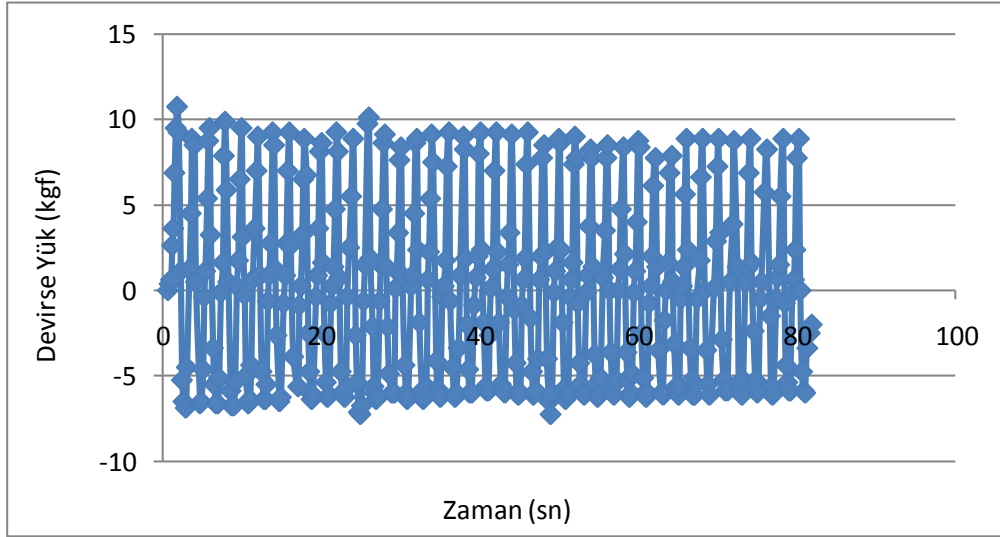
Burada, yukarıda verilen parametrelere göre (Tablo 6), çalışma alanından örselenmemiş ve örselenmiş olarak getirilen numunelerin rölatif sıkılığı, $D_r=0.66$ olarak bulunmuş olup, bu orana göre yeniden hazırlanarak doyurulan numunelere, devirsel gerilmeler, boşluk suyu basıncının ortalama efektif çevre basıncına eşit veya boşluk suyu basınçlarının sabitleştiği duruma erişinceye kadar uygulanmış ve deney çıktıları Şekil 11' de verilmiştir.



(a)



(b)



(c)

Şekil 11. Siltli killi zeminlerin dinamik yük altındaki davranışı; (a) birim deformasyon dinamik gerilme davranışı; (b) zaman ile boşluk suyu basıncı davranışı; (c) zaman ile dinamik yük davranışı

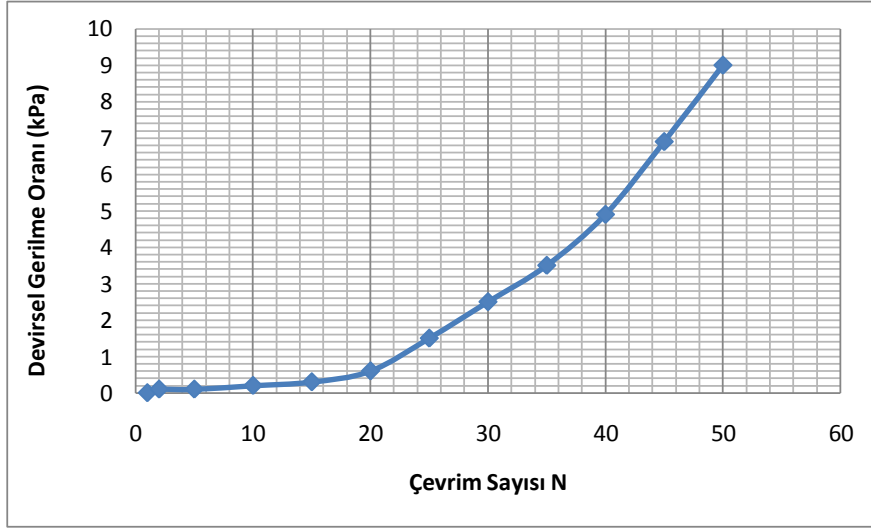
Burada doğal ortam referans alınarak parametreler hesaplanmış ve DGO, (τ_d/σ_c) **0.32**, devirsel yük **5.6 kgf**, frekans **0.5 Hz** alınmıştır. Çevrim Sayısı; arazide **7.1** büyüklüğündeki bir deprem için hesaplanan eşdeğer çevrim sayısının (**14**), (Bkz. Tablo 5) üç (3) katı kadar olan (40 çevrim) sayısı yaklaşımla karşılaştırma yapılmak amacıyla numuneler sinüzoidal devirsel yüklemeye maruz bırakılmıştır. Suya doymuş siltli ve kil ağırlıklı kumlu zeminde boşluk suyu basıncı zamanla artmış ancak hiçbir zaman efektif çevre (konsolidasyon) basıncına eşit olamamıştır.

Çevrim sayısı 40 olduğunda ($N_{Lab}=40$), boşluk suyu basıncı ($\Delta U/\sigma_c$) 0,70 değerinin üzerine çıkamamış ve zamanla bir miktar azalmıştır. Diğer yandan birim kayma deformasyonları (δ) zamanla artmış ve göçme ölçütü olan $\delta = \pm 2,5$ deformasyon derecesine kırk çevrimde ($N_{Lab}=40$, laboratuvarında uygulanan çevrim sayısı) ulaşamamış ve boşluk suyu basıncı oranı ise $\Delta U/\sigma_c = 0,70$ değerinin üzerine çıkamamıştır.

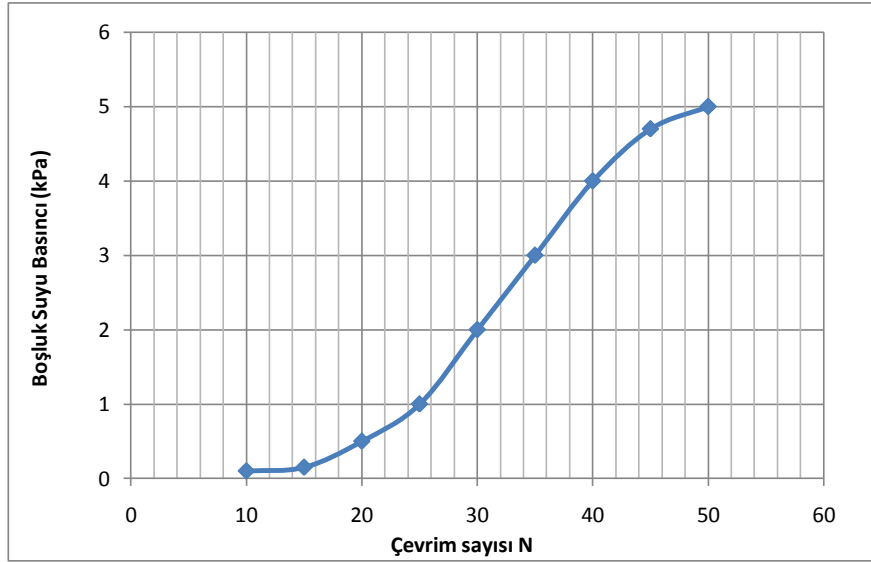
Devirsel yükün zamana göre değişimi ise boşluk suyu basıncının zamanla değişmesine rağmen devirsel devirsel yük $N_{Lab}=40$. çevrim, diğer ifadeyle eşdeğer çevrim sayısı sonuna kadar ($N_{Eş} = 14$) devam etmiş ve deney sonunda yenilme ölçütü $\delta = \pm 30$ değerine kadar çıkmış ve deney sonlanmıştır. Deneyde uygulanan $N_{Lab}=40$. çevrim sonunda, diğer bir ifade ile eşdeğer çevrim sayısı ($N_{Eş} = 14$) sonunda boşluk suyu basıncı ($\Delta U/\sigma_c$) %90 seviyesine çıkamadığı için bu lokasyondan alınan numunelerin sıvılaşmadığı gözlenmiştir.

Burada plastik siltli kumlar ile plastik siltlerde tekrarlı gerilmeler altında oluşan boşluk suyu basınçları ve oluşan deformasyonlar nedeni ile dinamik deney sonrası statik mukavemetlerinde azalma meydana gelmiştir. Zeminde yumuşama sonrası oluşan mukavemet kayıpları taşıma gücünün azalmasına neden olmakta ve temel zemininde göçmeler oluşmaktadır (Şekil 12).

Şekil 12'de devirsel gerilme-çevrim sayısı ve boşluk suyu basıncı-çevrim sayısı arasındaki ilişkiler görülmektedir. Deneylerde uygulanan çevrim sayıları sırası ile $N=14, 25, 40$ ve 50 dir. Her dinamik yükleme deneyinde dinamik yüklemeye ait gerilme şekil değiştirme ve boşluk suyu basıncı değişimleri Şekil 13'de görülmektedir.

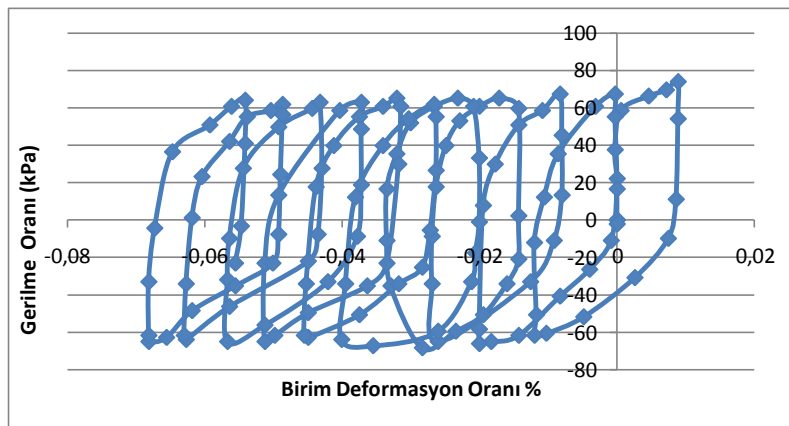


(a)

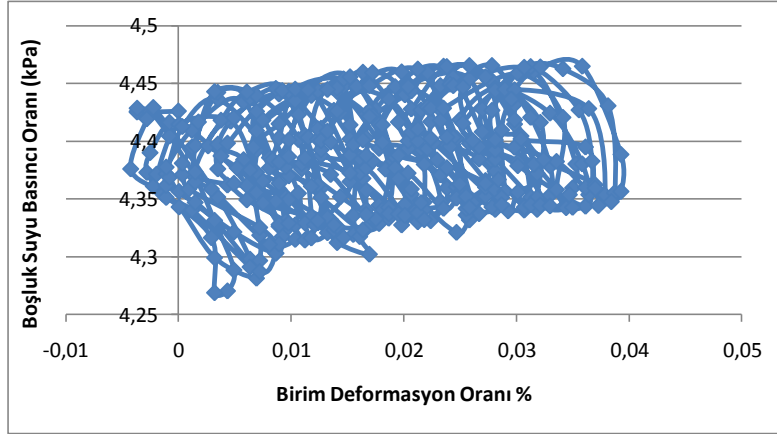


(b)

Şekil 12. Siltli kumlu zeminlerde aynı dinamik gerilme seviyesinde değişik çevrim sayılarındaki davranışı; (a) çevrim sayısı dinamik gerilme oranı ilişkisi; (b) çevrim sayısı ve dinamik gerilme oranı ilişkisi



(a)



(b)

Şekil 13. Siltli zeminlerde dinamik yükleme sonrası (a) birim deformasyon ve dinamik gerilme ilişkisi; (b) birim deformasyon ve boşluk suyu basıncı ilişkisi

Şekil 13’ de birim deformasyon gerilme oranı, birim deformasyon ve boşluk suyu basıncı arasındaki ilişkiler görülmektedir. Burada siltli kumlu numuneye dinamik yük uygulanmış davranış sonucunu görülmektedir. Statik yükleme sırasında zeminde oluşan boşluk suyu basıncı konsolidasyon basıncının yarısına yaklaşırken deformasyon seviyesi %10’a seviyelerine çıkmıştır. Dinamik yükleme deneyleri aynı zeminden hazırlanan numuneler üzerinde aynı tekrarlı kayma gerilmesinin değişik tekrar sayılarında uygulanmasının hemen arkasından elde edilmiştir.

Dinamik yükleme süresi arttıkça statik mukavemet azalmakta ve zemin numunesinde aşırı deformasyon oluşumu ile boşluk suyu basıncında artışlar gözlenmiştir. Deneysel çalışmaların sonucunda $N=24$. çevrim sayısı tekrarından sonra statik direncin azaldığı ve bu azalma oranının yaklaşık %45’e kadar ulaştığı ve bu azalmanın da taşıma gücünün azalmasına neden olduğu ortaya konulmuştur.

6. SONUÇ VE ÖNERİLER

Önce, Saruhanlı (Manisa) ilçesinde imara açılan ve sıvılaşma potansiyeli taşıyan alandaki sismik veriler ile deprem kaynağı olarak Gediz Grabeni Fay zonu tespit edilmiş ve bu fay zonunun üretmesi beklenen tasarım parametreleri; “maksimum yatay deprem ivmesi 0,28g ve moment magnitüdü 7,1”, olarak hesaplanmış olup bu parametrelere göre sıvılaşma analizi yapılmıştır. Analizler sonucu, Bölgede yüksek ve düşük sıvılaşma potansiyeli gösterebilen noktalar belirlenmiştir (Grup 1, Grup 2).

İkinci aşamada, bu analiz sonuçlarına göre, sıvılaşan bölgelerde gözlem çukurları açılarak, su seviyesinin başladığı noktalar dikkate alınarak yaklaşık 4,5-5 m derinliğinden örselenmiş ve örselenmemiş numuneler alınmıştır. Arazideki doğal zemin ortamın özelliklerinin (rölatif sıklık, su muhtevası, boşluk oranı, birim hacim ağırlık) belirlendiği ve bu şartlar referans alınarak laboratuvarında ıslak tokmaklama yönteminden yararlanarak yeniden numune hazırlanmış, Devirsel üç eksenli deney cihazında, drenajsız şartlar altında gerilme kontrollü, devirsel yükler uygulanarak, zeminlerin devirsel davranışları ve sıvılaşma özellikleri incelenerek çalışma alanının sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır. Laboratuvarında yapılan devirsel üç eksenli deneyler sonucunda; $D_r = \%45$ olan lokasyonda (SK-8) ve $D_r = \%57$ olan diğer lokasyonda (SK-22) sıvılaşma gerçekleşmiştir. Diğer taraftan SK-19 olan lokasyondan alınan numuneler üzerinde yapılan dinamik yüklemelerde bu lokasyonun sıvılaşmadığı ancak taşıma gücü kaybına uğradığı ortaya konulmuştur.

Sıvılaştan zeminlerde yapılar zemin içine gömülmekte, farklı oturmalar nedeni ile izin verilen sınırların dışına çıkacak şekilde dönmelere ve yanal kaymalara uğramaktadır. Bu nedenle kumlu siltli zemin tabakalarının yer aldığı inşaat alanlarında yapının inşaatından önce, sondaj yapılarak zemin tabakalaşması ve zeminlerin endeks ve mukavemet özelliklerinin belirlenmesi ve ikinci aşama olarak dinamik analizler ile zemin tabakalarının sıvılaştırılabilirliğini araştırılması gereklidir. Ayrıca, depremlerde yumuşak kıvamlı suya doygun plastik silt ve siltli kuvarların olduğu temel altında yer alan zeminlerin statik mukavemetinin azalması sonucu taşıma gücünün azalarak temel zeminin göçeceği göz önünde bulundurulmalıdır. Zeminde yumuşama sonrası oluşan mukavemet kayıpları taşıma gücünün azalmasına neden olmakta ve temel zeminde göçmeler oluşmaktadır. İnşaat amacıyla projelendirme aşamasında bu hususların göz önüne alınarak hesapların yapılması gereklidir.

7. TEŞEKKÜR

Bu çalışmada **Gazi Üniversitesi** Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğünce desteklenen, PROJE NO: **07/2009-11** imkanları kullanılmıştır. Bu vesile ile katkısı olanlara teşekkür ederiz.

8. SEMBOLLER

a_{max}	:	Depremin oluşturulacağı varsayılan maksimum ivme
B	:	Skempton'un boşluk suyu basıncı katsayısı
e	:	Zeminin doğal boşluk oranı
e_{max}	:	Maksimum boşluk oranı
e_{min}	:	Minimum boşluk oranı
ϵ	:	Yatay birim deformasyon
GK	:	Sıvılaşma güvenlik faktörü
G_s	:	Özgül ağırlık
M_s	:	Numunenin kuru kütlesi, g
M_W	:	Depremin moment büyüklüğü
N	:	Çevrim sayısı
P_d	:	Devirsel yük, kgf
D_r	:	Rölatif sıkılık
S_r	:	Doygunluk oranı
U	:	Boşluk suyu basıncı
ΔU	:	Boşluk suyu basıncı artışı, kgf/cm ²
σ	:	Toplam normal gerilme
$\Delta \sigma_c$:	Çevre basıncı artışı, kgf/cm ²
σ_{vo}'	:	Efektif konsolidasyon gerilmesi, kgf/cm ²
τ	:	Sismik kayma gerilmesi
τ_s	:	Sıvılaşmanın başlayabilmesi için gerekli kayma gerilmesi
τ_o	:	Zeminde depremin meydana getireceği kayma gerilmesi
τ_{max}	:	Maksimum kayma gerilmesi
τ_a	:	Yapıdan dolayı oluşan statik kayma gerilmesi
τ_{cy}	:	Devirsel yüklerden oluşan kayma gerilmesi
τ_d	:	Başlangıç devirsel kayma gerilmesi
DDO	:	Devirsel direnç oranı
DGO	:	Devirsel gerilme oranı

KAYNAKLAR

1. Erken, A., zay, R., Kaya, Z., lker, M.B., ve Elibol, B., 2004, “Depremler Sırasında Zeminlerin Sıvılaşması ve Taşıma G¼c¼ Kayıpları”, T¼rkiye M¼hendislik Haberleri 431, 20-26
2. zaydın, K., 2007, “Zeminlerde Sıvılaşma”, Altıncı Ulusal Depem M¼hendislięi Konferansı, 231-255, İstanbul
3. Iwasaki, T., K., Tokida, K., Tatsuoka, Watanabe, S., Yasuda, S., and Sato, H., 1982, “Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods”, Proceedings of the 13th International Conf. On microzonation, Seattle, 3, 1319-1330, USA.
4. iftçi, N.B., and Bozkurt, E., 2008, “Pattern of normal faulting in the Gediz Graben, SW Turkey. Tectonophysics”, Sedimentary Geology, 473(1-2): 234-260
5. iftçi, N.B., and Bozkurt, E., 2009, “Evolution of the miocene sedimentary fill of the Gediz Graben, SW Turkey”, Sedimentary Geology, 216(3-4): 49–79
6. Bozkurt, E., 2000, “Timing Of Extension On The B.Y.K Menderes Graben, Western Turkey, And Its Tectonic İmplications”, In: Bozkurt, E., Winchester, J.A. And Piper, J.D.A. (Eds), Tectonics and Magmatism İn Turkey And The Surrounding Area. Geological Society, Special Publications 173, 385-403 London.
7. Bulut, İ., Sağlam, M., Bektaş, İ.A., şahin, M.S., Demir, M., Uran, ř., çkardeşler, C., G¼ner, F., Araz, A.H., 2006, “Saruhanlı (Manisa) Belediyesi Jeoteknik Et¼t Gerektiren Alanların (Jega) İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Et¼t Raporu”, İller Bankası Rapor No. ILB-I/45-039-004, Ankara, 1-53
8. İnternet: Geologismiki (2006), 2006, “LiqIT 4.7.3, Sıvılaşma Analizi Yazılımı”, www.geologismiki.gr (2006).
9. Andrus, R.D., and Stokoe, K.H.,II, (2000), “Liquefaction resistance of soils from sheare wave velocity”, Journal of Geotechnical and Goenvironmental Engineering ASCE, 126(11),1015-1025
10. Seed, H.B., Idriss, I.M., 1971, “Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential”, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 97(9), 1249-1273
11. Mark, R. K., 1977, “Application Of Linear Statistical Model Of Earthquake Magnitude Versus Fault Length İn Estimating Maximum Expectable Earthquakes”, Geology, 5: 464- 466
12. Wells, D.L. and K.J. Coppersmith, 1994, “New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement”, Bull, Seismol, Soc, America., 84, 974-1002
13. Ulusay, R., and Tuncay., E., and Sonmez, H., and Gokceoglu C., 2004, “An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey”, Engineering Geology. 74: 265–291
14. Ladd, R. S., Dobry, R., Dutko, P., Yokel, F. Y. and Chung, R. M., 1989, “Pore-Water Pressure Buildup in Clean Sands Because of Cyclic Straining”, Geotechnical Testing Journal, 12 (1): 77-86
15. ASTM D 5311-92, 2002, “Standard Test Method for Load Controlled Cyclic Triaxial Strength of Soil”, Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, 1-10