

## Rölatif Sıklığın Saruhanlı (Manisa) İlçesi Zeminlerinin Sıvılaşmasına Etkisinin Dinamik Üç Eksenli Deneyi İle Araştırılması

Mehmet ORHAN<sup>1\*</sup>, Ali ATEŞ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Gazi Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, Geoteknik Anabilim Dalı, Beşevler-Ankara,

<sup>2</sup> 7.Etap Göksu mah. 85.Sok.1/C Blok D:11 Eryaman/Ankara

**Özet:** Bu çalışma Manisa (Saruhanlı) ilçesinde, alüvyal zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin, sismik dalga hızı ve rölatif sıklığın sıvılaşma üzerindeki etkisinin Dinamik üç eksenli deney kullanılarak belirlenmesininin araştırılmasını içermektedir. İlçenin yaklaşık 33 km güneyinde ve 150 km uzunluğundaki “Gediz Grabeni Fay Zonu”, bölgeyi etkileyebileceği varsayılarak, araştırmaya esas alınmıştır. Bu fay zonunun, olası bir depremde 1/3'nün kırılması tahmin edilmiş, moment magnitudü 7,1 ve 0,28 g büyüklüğünde yatay deprem ivmesi oluşturabileceği hesaplanarak sıvılaşma analizleri yapılmış ve sıvılaşma haritası hazırlanmıştır. Risk haritasına göre sıvılaşan lokasyondan, numune alınmıştır. Laboratuvarda arazi şartlarına uygun ve lokasyondan alınan numunenin sahip olduğu rölatif sıklık değerlerinde deney numunesi hazırlanarak arazide maruz kaldıkları efektif jeolojik yüke eşit oranda konsolide edilmiş ve gerilme kontrollü devrimsel yükler sinüzoidal olarak uygulanmıştır. Boşluk suyu basıncı oluşumunu kontrol edebilmek için bütün deneyler 0,5 Hz yükleme frekansında yapılmıştır. Bu fay zonunun üretebileceği ivme şartlarında bu bölgenin sıvılaşmadığı ancak rölatif sıklığın %50'e indirilerek tekrarlanması durumunda sıvılaşabileceği görülmüştür.

**Anahtar Kelimeler:** Devrimsel üç eksenli deney, Sismik dalga hızı, sıvılaşma potansiyeli, Saruhanlı, Rölatif sıklık

## Investigation Of Effect Of Relative Density On The Liquefaction Potential Of Soils Of Saruhanlı (Manisa) Using Dynamic Triaxial Test

**Abstract:** This study includes the determination of the liquefaction potential of Manisa (Saruhanlı) region effect of relative density on liquefaction using seismic waves in field and dynamic triaxial test in laboratory. It was predicated that the Gediz Graben Fault Zone was a length of 150 km and to affect the region and approximately passed through in a distance of 33 km in the south of Saruhanlı District. In a probable earthquake effect, in case Gediz Graben was cracked 1/3 of the total length and it would produce as  $M_w=7,1$  and  $a_{max}=0.28$  g and the liquefaction analysis was performed and liquefaction map was prepared according to this approach. The samples were obtained from site according to the liquefaction hazard map and reconstituted basing on relative densities bounding to their own location relative densities in laboratory. They were subjected to stress-controlled cyclic loads sinusoidally according to the cyclic stress ratios obtained from site conditions consolidated to the stress which was exposed to the influence of geological overburden in-situ field stress. The tests were performed at the frequency of 0,5 Hz. In the end, under these conditions this sample was not liquefied and then in case, relative density rate reduced % 50 and redone the experiment, same sample was liquefied.

**Keywords:** Cyclic triaxial test, seismic velocity, liquefaction potential, Saruhanlı, Relative density

### 1. Giriş

Depremler esnasında suya doygün zemin tabakalarında çevrimli yüklemeler altında oluşan boşluk suyu basıncı artışları zeminde katı fazdan sıvı faza dönüşme olarak nitelendirilebilecek sıvılaşma durumunun ortaya çıkmasına neden olabilmektedir. 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 bağlıdır [Özaydın, 2007]. Zemindeki yeraltı su seviyesinin yüzeye yakın olmasıyla birlikte zeminin gevşek şartlarda olması, zeminin sıvılaşması için etkili olan koşullardandır. Sıvılaşma olayı, pek çok depremde gelişmesine karşın ülkemizde, 1992 Erzincan depremiyle dikkate alınmaya başlanmış,

1999 Marmara depreminde meydana gelen sıvılaşma olayları ile bu olgunun önemi tüm kesimlerin ilgisini çekerek önem kazanmıştır. Bu çalışmada, Manisa/Saruhanlı ilçesinin imar planlaması kapsamında, İller Bankası tarafından gerçekleştirilen jeolojik-jeoteknik etüt çalışmaları kapsamında elde edilen sismik (kayma dalga hızı) verileri kullanarak, bölgede yapılması planlanan yapıların oturacağı temellerin alüvyal zeminlerde sıvılaşma riski değerlendirilmiştir. Bu amaçla, bölgenin jeolojisinden, depremselliğinden, olası deprem odaklarının uzaklığı ile deprem atenasyonu ilişkilerinden yararlanılmıştır. Zemine ait granülometri ve rölatif sıklık değerlerinden, sismik (kayma dalgası hızı) verilerden yararlanılarak sıvılaşma analizleri yapılmış ve bu kriterler baz alınarak sıvılaşma haritası hazırlanmıştır [Iwasaki vd., 1982].

Burada sıvılaşabilen kesimlerden alınan örselenmiş ve örselenmemiş örnekler üzerinde, her bir lokasyona ait

numunelerin kendi rölatif sıklık değerlerinde laboratuvarında yeniden yapılan değerlendirmeler sonucu numuneler hazırlanmıştır. Bu numunelere bölgenin oluşturabileceği en yüksek ivme şartlarında, devirsel yüklemelerin uygulanabildiği dinamik üç eksenli deneyleri ile sıvılaşabilirlik konusunda rölatif sıklık oranının sıvılaşmaya etkisi araştırılmıştır.

## 2. Literatür Özeti

Kumlu zemin tabakalarının sıvılaşabilirliğinin değerlendirilmesinde arazi sıklık derecesi ve gerilme durumunun da önemle dikkate alınması gerekmektedir. Sıvılaşma durumunun oluşmasına yol açacak boşluk suyu basıncı artışları zeminin sıklık derecesi ve başlangıç gerilme durumu ile yakından ilişkilidir. Casagrande [1936] tarafından kumlar üzerinde yapılan deneysel çalışmalar, drenajlı olarak kesilen kumlarda kayma gerilmeleri altında oluşan hacim değişimlerinin kumun sıklık derecesi ve çevre basıncı ile yakından ilişkili olduğunu, kritik boşluk oranı çizgisi olarak tanımlanan bir sınır durum eğrisi altındaki zeminlerde kesme sırasında genişleme, üzerindeki zeminlerde ise sıkışma olduğunu göstermiştir. Castro [1975] başlangıç gerilme durumu ve sıklığı, yaptığı drenajsız statik ve çevrimli üç eksenli deneyler sonucunda tanımladığı kararlı durum çizgisi üzerinde kalan kumlarda ancak akma sıvılaşması oluşabileceğini, çevrimli sıvılaşmanın ise bu çizginin altında ve üstünde konumlanan zeminlerde oluşabileceğini göstermiştir. Rölatif yoğunluk, granüle formasyonların monotonik yüklenmesi durumunda olduğu gibi, devirsel yüklemeler altındaki davranışını etkileyen en önemli faktörlerden birisidir. Yapılan deneysel çalışmalar sıvılaşma olasılığının büyük ölçüde rölatif yoğunluğa bağlı olduğunu ortaya koymuştur. Rölatif yoğunluk oranının artması, ön

sıvılaşmaya ulaşmak için gereken devirsel yük sayısı veya uygulanan kayma gerilmesi oranının artması ile doğru orantılı olarak artar. Numunenin boşluk oranı ne kadar büyükse sıvılaşmaya yatkınlığı o kadar fazladır [Kramer, 1996]. Ishihara [1985] rölatif yoğunluğun %50-%80 aralığında olması durumunda, yoğunluğun devirsel dayanım üzerindeki etkisinin yok denecek kadar az olduğunu belirtmiştir. Ishihara [1985] başka bir çalışmada Sıvılaşma dayanımının rölatif yoğunluk arttıkça arttığını belirtmiştir. Ishihara [1985] yine başka bir çalışmada Rölatif yoğunluğun yaklaşık olarak %50'den küçük olması durumunda ön sıvılaşma ve tam sıvılaşmanın eşzamanlı olarak gerçekleştiğini ifade etmiştir. Aynı zamanda şekil değiştirme oranı da çok büyük bir değere ulaşır. Buna karşı rölatif yoğunluğun %50'den büyük olması durumunda şekil değiştirme oranı sınırlı kalır ve ön sıvılaşmadan sonra, yüksek birim deformasyon düzeylerine ulaşmak için çok daha fazla devrim sayısı gerekir [Ishihara, 1985].

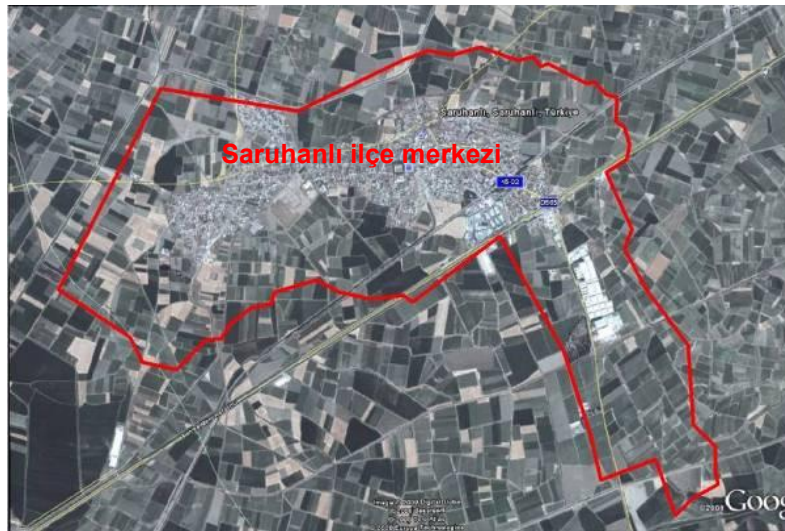
## 3. Materyal ve Metot

### 3.1. Materyal

#### 3.1.1. 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.



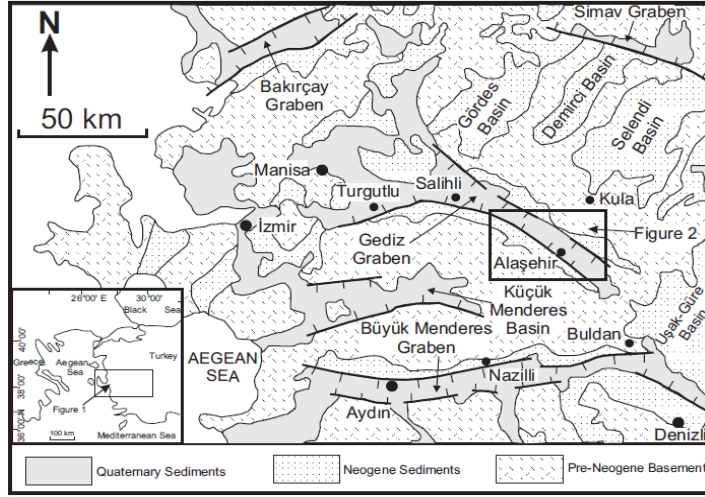
Şekil 1. Çalışma sahasının sınırlarını gösteren bir uydu görüntüsü

### 3.1.2. Bölgenin Jeolojisi

Türkiye'nin batısında Gediz grabeni en belirgin ve gelişmiş graben havzasına sahiptir [Çiftçi ve Bozkurt, 2008]. Gediz grabeni bölgesinde yer alan kaya birimleri temel Paleozoyik ve Mesozoyik yaşlı kırıntılı, karbonatlı sedimentler kayalar ile fliş ve içerisindeki ofiyolitik ve mafik volkaniklerden oluşmaktadır [Bozkurt, 2000]. Neojen ise; volkanik, sedimentler ve plütonik kaya türleri ile temsil edilmektedir (Şekil 2), [Bozkurt, 2000]. Menderes

masifine ait olan metamorfik kayalar Neojen öncesi taban formasyonu ve horst bloklarının üzerinde yer alan 2000 metre yüksekliğe kadar uzanan formasyonlardan oluşmaktadır [Çiftçi ve Bozkurt, 2008]].

Gaben dolgusu Neojen öncesi metamorfik kayaların üzerinde yer almaktadır. Gediz grabeni dolgusu ise parçalanabilir kıtasal göl ve nehir çökelleri orijinli miosenlerden oluşmaktadır [Çiftçi ve Bozkurt, 2009].



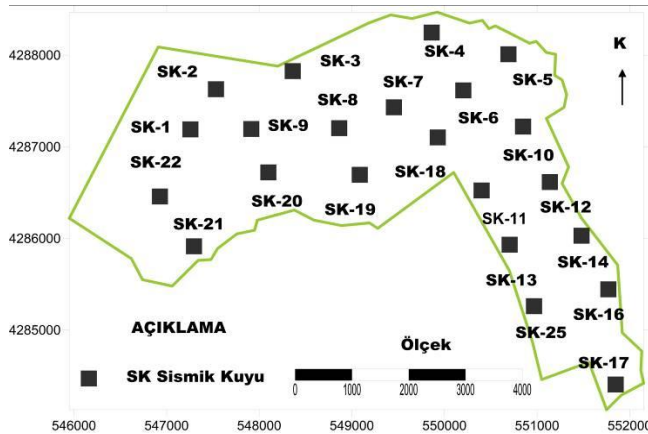
Şekil 2. Gediz ve Büyük Menderes Grabenlerinin jeolojisi ve tektoniği [Bozkurt, 2000]

Saruhanlı ve çevresinde pliosen detritik (Tpd: Detritik çakıltası, kumtaşı, silttaşı, kiltası) birimleri (pliosen flüviyal ve pliyosen gölssel) hakimdir. Saruhanlı ilçesinin 85 km güneyinde yapılan Sondaj ve sismik kırılma çalışmaları metamorfik taban kayaları derinliğinin yaklaşık 1750 m olduğunu göstermiştir. Gediz grabeni sınırlarına doğru yaklaştıkça bu oluşumun sığ olduğu gözlenmiştir. Çökel dolgusu kalınlıklarına gelince Gediz grabeni kuzeyinde, güneyine oranla daha ince olduğu keşfedilmiştir. Jeomorfolojiyi de kontrol eden bu faylar graben

sisteminde Erken Miyosen–Pliyosen döneminde oluşmuştur. Topoğrafik özellikler ve eğimli Neojen çökel katmanları bu fayların Neojen'den sonra aktif olduğunu gösterir [Sarı, 2003].

### 3.1.3. Arazi Verileri

Çalışmada, sıvılaşma potansiyeli hesaplamasında, Manisa (Saruhanlı) ilçesinde Şekil 3'de gösterildiği gibi arazide yerinde yapılan sismik (kayma dalgası hızı) verileri kullanılmıştır [Bulut vd., 2006].



Şekil 3. Arazide yapılan sismik kuyu ölçüm verileri dağılımı

Örnek olarak arazide yerinde yapılan ölçümlerle ilgili ölçüm verileri Çizelge 1’de verilmiştir [Bulut vd.,  
olarak düz atış-ters atış P ve S zaman uzaklık grafiği 2006].  
Şekil 5’de verilmiştir. Ayrıca arazide yapılan jeofizik

**Çizelge 1.** Jeofizik veriler sonucu elde edilen Vp Ve Vs dalga hızları

SERİM NO	Tbk.	Vp (m/s)	Vs (m/s)	30 mt.ort Vs hızı
JF 1	1	231	140	188
	2	323	153	
	3	1749	201	
JF 2	1	194	118	177
	2	334	167	
	3	1318	182	
JF 3	1	250	140	217
	2	285	166	
	3	804	236	
JF 4	1	196	128	232
	2	253	141	
	3	625	202	
	4	1522	264	
JF 5	1	236	143	231
	2	322	159	
	3	663	175	
	4	1785	268	
JF 6	1	238	139	196
	2	286	175	
	3	1408	204	
JF 7	1	242	120	231
	2	296	149	
	3	774	252	
JF 8	1	199	139	211
	2	245	197	
	3	1504	223	
JF 9	1	231	146	217
	2	1000	176	
	3	2660	321	
JF 10	1	202	142	209
	2	955	162	
	2	349	179	

Çizelge 1. Jeofizik veriler sonucu elde edilen Vp Ve Vs dalga hızları

	3	1930	194	
JF 12	1	248	167	189
	2	341	180	
	3	1439	194	
JF 13	1	264	139	206
	2	355	156	
	3	1760	240	
JF 14	1	306	182	290
	2	336	226	
	3	1339	342	
JF 15	1	246	123	208
	2	308	172	
	3	1550	227	
JF 16	1	226	160	250
	2	347	182	
	3	893	300	
JF 17	1	278	186	280
	2	750	212	
	3	1588	330	
	2	283	134	
	3	1382	194	
JF 19	1	245	162	281
	2	265	201	
	3	1788	321	
JF 20	1	272	126	243
	2	553	168	
	3	1677	278	
JF 21	1	244	162	253
	2	320	194	
	3	1961	278	
JF 22	1	266	103	376
	2	316	191	
	3	1833	616	

### 3.1.4. Deney Cihazı ve Yazılımlar

Bu çalışmada, Arazi verilerinin sıvılaşma potansiyel hesaplamaları, Liq IT V.4.7.3 Geologismiki [2006] yazılımı kullanılmıştır [Robertson ve Wride, 1988]. 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/m<sup>2</sup> 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 Düzenegi”, Gazi Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Yapı Bölümü Geoteknik Anabilim Dalı Zemin Mekanikliği Laboratuvarında bulunan (G.Ü. BAP Biriminin, Proje no. 07/2009-11 ile temin edilen ), hidrolik güç kontrollü, maksimum 500 kgf devirsel yüklem kapasiteli SBA-500L markalı test cihazıdır (Şekil.4).



Şekil 4. Devirsel üç eksenli deney düzeneği

### 3.2. Metot

İller bankası tarafından hazırlanan rapordan alınan sismik verileri esas alınarak, Andrus ve Stokoe [2000] yöntemine göre sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Bu analizler sonucunda elde edilen sonuçlara göre, imara açılacak yapılaşma bölgesinde, sıvılaşma potansiyeli “yüksek”, “düşük” ve “çok düşük” özellikli bölgeler belirlenmiştir. Bu analizler sonucunda elde edilen sonuçlara göre imara açılacak bölgenin sıvılaşmaya bağlı oluşan risk alanları ortaya konulmuştur.

#### 3.2.1. Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesindeki Kriterler

Çalışmada, sismik veriler Andrus ve Stokoe [2000]’nin  $V_s$ ’i esas alan yöntemine göre LiqIT v.4.7.3 Geologismiki [2006] yazılımı kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarını esas alarak zeminlerin sıvılaşma dirençlerinin belirlenmesi, iki değişkenin hesaplanmasını veya

tahmin edilmesini gerektirmektedir, bunlar;

- Zemin tabakasındaki sismik talebi ifade eden devirsel gerilme oranı (DGO),
- Zeminin sıvılaşmaya karşı direncini gösteren devirsel direnç oranı (DDO).

Deprem gücünü karakterize eden DGO’nın, zeminin direncini karakterize eden DDO’ya 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.

#### 3.2.1.1. Seed ve Idriss [1971] Tarafından Geliştirilen “Basitleştirilmiş” Yönteme Göre Devirsel Gerilme Oranının (DGO) Bulunması

Bu yönteme göre deprem esnasında zemin tabakasındaki oluşacak devirsel gerilme oranı aşağıda verilen Eş.2’den hesaplanabilmektedir [Seed ve Idriss, 1971].

$$DGO = 0,65 \left\{ \frac{\tau_{av}}{\sigma'_{vo}} \right\} = 0,65 \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \left( \frac{\sigma_{vo}}{\sigma'_{vo}} \right) r_d \quad (2)$$

Burada; ( $a_{max}$ ) deprem tarafından oluşturulan ve yüzeyde etkiyen en büyük yatay yer ivmesini, ( $\sigma_{vo}$ ) toplam düşey gerilmeyi ( $\text{kN/m}^2$ ), ( $\sigma'_{vo}$ ) efektif düşey gerilmeyi ( $\text{kN/m}^2$ ), ( $g$ ) yerçekimi ivmesini ( $\text{m/s}^2$ ), ( $\tau_{av}$ ) ortalama devirsel gerilme dayanımını ( $\text{kN/m}^2$ ), ( $r_d$ ) gerilme azaltma katsayısını ifade etmektedir.

Efektif Gerilme azaltma katsayısı, Liao ve Whitman [1986]’e göre aşağıdaki şekilde belirlenebilir;

$$r_d = 1 - 0,00765z, \quad z \leq 9,15\text{m} \quad (3a)$$

$$r_d = 1,174 - 0,0267z, \quad 9,15\text{m} < z \leq 23\text{m} \quad (3b)$$

Burada; ( $z$ ) metre cinsinden derinliktir.

#### 3.2.1.2. Andrus ve Stokoe [1997-2000] yöntemiyle devirsel direnç oranının (DDO) bulunması

Bu yöntemde öncelikle, S-dalga hızının ( $V_{s1}$ ) sıvılaşma direncinin belirlenerek kullanılmasında bazı düzeltmeler yapmak gerekmektedir. Burada düşey gerilmeye göre kayma dalgası hızı için üst tabaka yükü, düzeltilmiş S-dalga hızı ( $V_{s1}$ ), aşağıdaki

eşitlikten hesaplanmaktadır (Eş.4), [Sykora, 1987];

$$V_{S1} = V_S \cdot C_V \quad (4)$$

Burada,

$V_{S1}$  = düzeltilmiş kayma dalgası hızı (üst tabaka yüküne göre),

$C_V$  = üst tabaka yükü düzeltme katsayısı,

$V_S$  = arazide ölçülen kayma dalgası hızıdır,

$C_V = (100/\sigma'_{vo})^{0,25}$  e eşittir. Burada;  $\sigma'_{vo}$  düşey efektif gerilmedir.

Burada 7,5 büyüklüğündeki bir deprem için DDO ( $DDO_{7,5}$ ) yukarıdaki eşitlikten (Eş.4) hesaplanan  $V_{S1}$  değeri kullanılarak aşağıdaki eşitlikten (Eş.5) belirlenmektedir [Sykora, 1987].

Bu eşitlik, 7,5 büyüklüğündeki bir depreme göre değişik oranlarda ince tane içeren, çimentolaşmış halosen yaşlı çökeller için önerilmiştir.

$$DDO_{7,5} = 0,22(V_{S1}/100)^2 + 2,8[(1/V_{S1} - V_{S1}) - (1/V_{S1})] \quad (5)$$

Burada,

$V_{S1}$ : dalga hızı açısından sıvılaşmanın meydana geldiği üst sınır değeri olup, ince tane oranı (İTO)  $\leq$  %5 ve %35 arasındaki zeminler için doğrusal olarak 215 ile 200 m/sn arasında değişmektedir. Bu husus dikkate alınarak  $V_{S1}$ , ince tane oranına göre belirtilen bu değişim aralığından belirlenir.

#### 4. Arazi ve Laboratuvar Çalışmalarının Değerlendirilmesi

##### 4.1. Deprem Tasarım Parametrelerinin Hesaplanması

İnceleme sahasının yaklaşık 33 km güneyinden Gediz Grabeni fay zonu, 100 km güneyinden Büyük Menderes fay zonu ve 39 km kuzey-batısından Bergama fay zonu geçmektedir (Şekil 5). Burada en yüksek ivme yaratabilecek fay zonu, ilçenin 33 km güneyinden geçen Gediz Grabeni fay zonu 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). Çalışma sahasında en yüksek ivme yaratabilecek olan Gediz Grabeni fay zonu, Mark [1977] yaklaşımına göre olası bir depremde 1/3'nün kırılacağı yaklaşımla, olası tasarım depreminin moment büyüklüğü, Wells ve Coopersmith [1994]'in eşitliği kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$M = 4,86 + 1,32 \log L \quad (6)$$

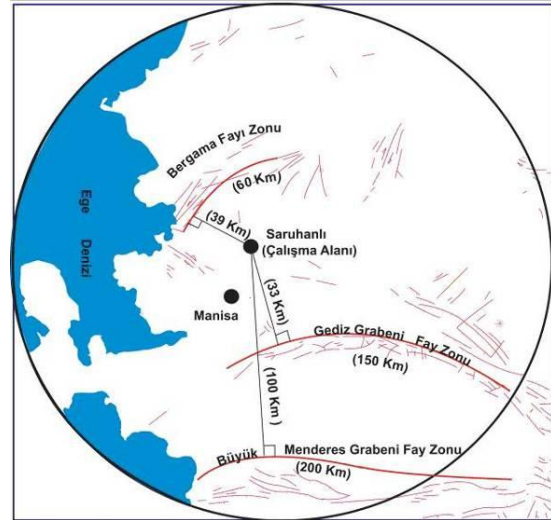
Burada; M: Moment büyüklüğü, L: Fay uzunluğu (km).

Bu yaklaşıma göre Fay uzunluğunun, 1/3'nün kırılması durumunda, "Moment Büyüklüğü" 7,1 olarak hesaplanmıştır.

Yatay deprem ivmesi ise Türkiye'deki depremleri esas alan ve normal atımlı faylar için geliştirilen deprem atenasyon ilişkisi kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır [Ulusay vd., 2004].

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

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. Buna göre, tasarım depreminin meydana getirebileceği "Yatay deprem ivmesi" 0,28g olarak hesaplanmıştır.



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

##### 4.2. 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., 1982] tarafından güvenlik faktörünü de içerecek şekilde "sıvılaşma potansiyeli indeksi" adı verilen bir parametre önerilmiştir. Sıvılaşma indeksinin hesaplanması için aşağıdaki eşitlikleri (Eş. 8 ve Eş. 9a-Eş. 9d) önerilmiştir [Iwasaki vd., 1982].

$$LI = \int_0^{20} F(z)W(z)dz \quad (8) \quad z > 20 \text{ için; } W(z)=0 \quad (9d)$$

$$FL < 1,0 \text{ için; } F(z)=1-FL \quad (9a)$$

$$FL \geq 1,0 \text{ için; } F(z)=0 \quad (9b)$$

$$z < 20 \text{ için; } W(z)=10-0,5z \quad (9c)$$

Burada; (LI) sıvılaşma indeksi, (z) yüzeyden zemin tabakasının orta noktasına olan derinlik (m), (FL) sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörüdür.

Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin derecelendirilmesinde Iwasaki vd. [1982]'e göre hesaplanan sıvılaşma indeksleri Çizelge 2'deki gibi sınıflandırılmıştır.

**Çizelge 2.** Sıvılaşma potansiyeli indeksine (LI) göre sıvılaşma risk dereceleri [Iwasaki vd., 1982]

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 ve diğ. (1982) yöntemine göre Eşitlik 8 kullanılarak sıvılaşma indeksleri bulunmuş ve Çizelge 3'de verilmiştir. Bundan sonra bu çizelgedeki indeksler yukarıda verilen (Çizelge 2) sınır değerleri ile karşılaştırılarak ilgili lokasyonlar sıvılaşma derecelerine göre gruplandırılmıştır. Bu aşamadan sonra Çizelge 3'de verilen değerlere göre

sıvılaşma haritası hazırlanmıştır (Şekil 6). Sonuç olarak; deprem magnitüd büyüklüğü 7,1 ve yatay deprem ivmesinin 0,28g şartlarında bir depremin olması durumunda, Çizelge 2, 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.

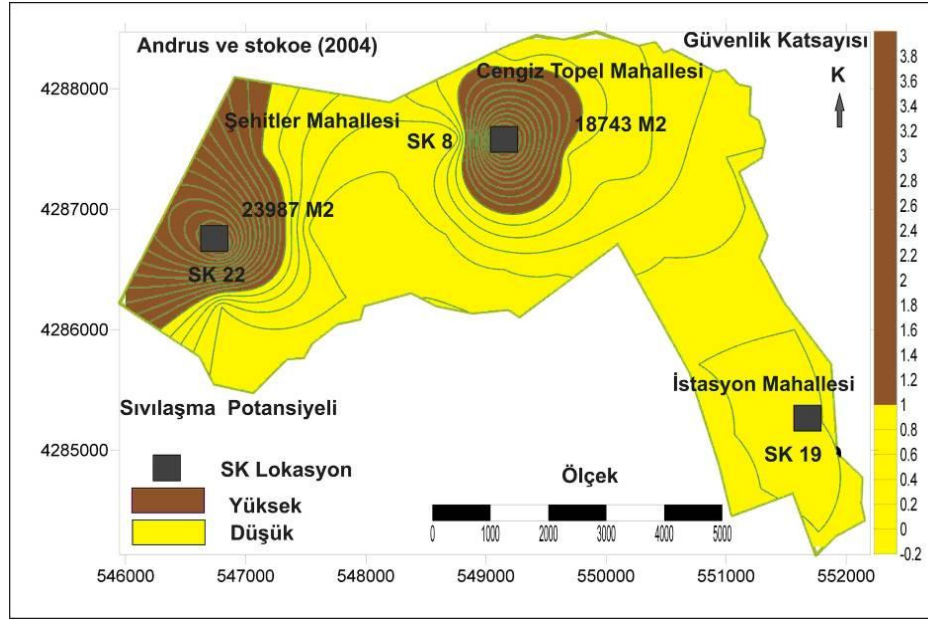
**Çizelge 3.** Çalışma alanı için hesaplanan sıvılaşma indeksleri [Iwasaki vd., 1982]

SERİM 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



**Çizelge 3. (devam) Çalışma alanı için hesaplanan sıvılaşma indeksleri [Iwasaki vd., 1982]**

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	0,62	Az



**Şekil 6. Andrus ve Stokoe [2000] sismik yöntemine göre bölgenin sıvılaşma haritası**

#### 4.3. Araziden Numune Alma ve Yer Seçimi

Yukarıdaki sıvılaşma haritasına (Şekil 6) bakıldığında

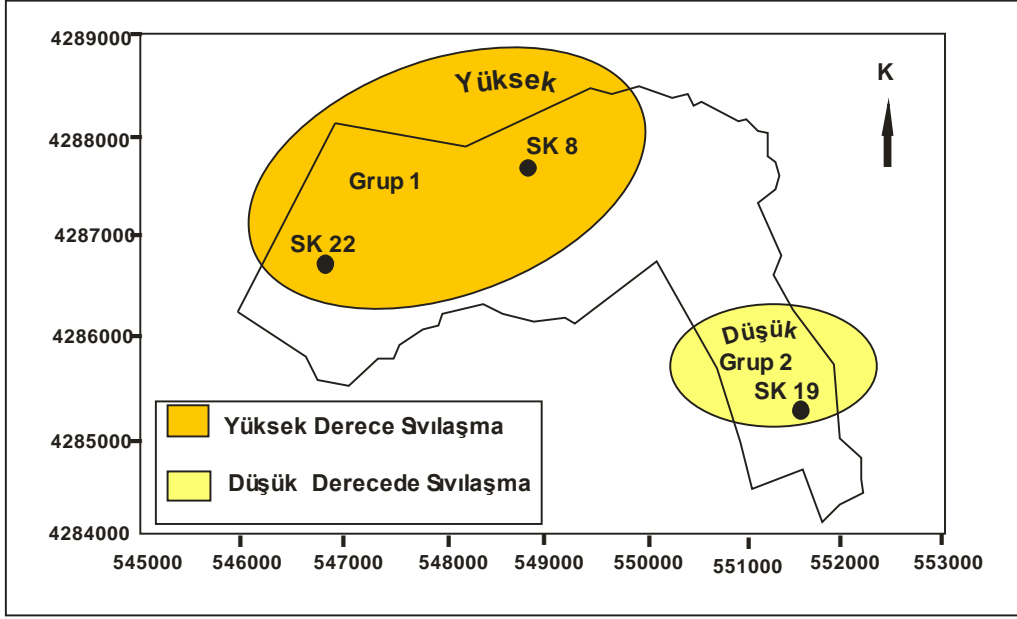
, belirlenen 3 lokasyon, yüksek, ve düşük sıvılaşma potansiyeli derecelendirmesine göre 2 grup olarak aşağıdaki Çizelge 4'de olduğu gibi belirlenmiştir.

**Çizelge 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 seviyesi dikkate alınarak 4-4,8m derinliğinde açılan gözlem çukurlarından UD (örselenmemiş) tüpleri ile sıvılaşma sınıflandırma gruplarını temsilen sıvılaşma riski

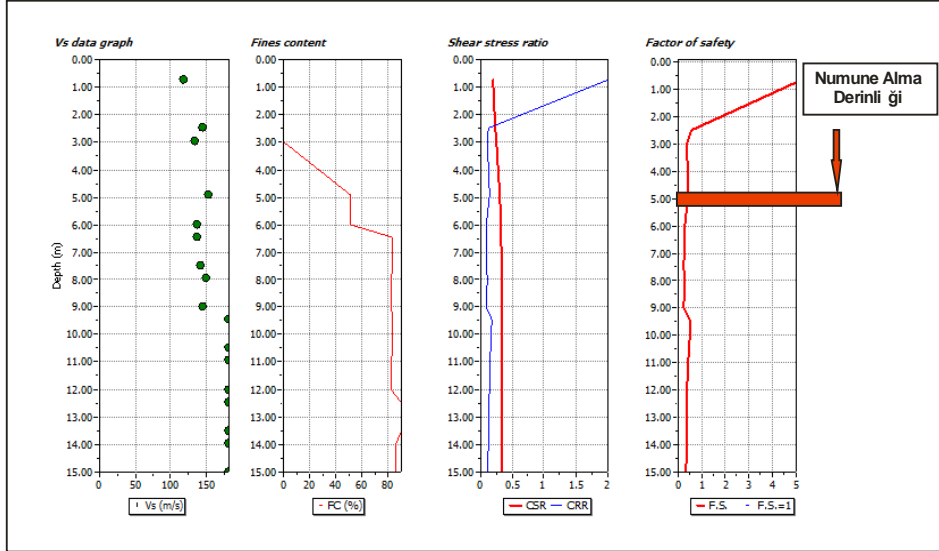
taşıyan noktalardan (grup 1; SK-8, SK-22) numuneler alınmıştır. Çalışmaya esas seçilen ve numune alınmasında planlanan lokasyonları gösteren kroki Şekil 7’de görülmektedir.



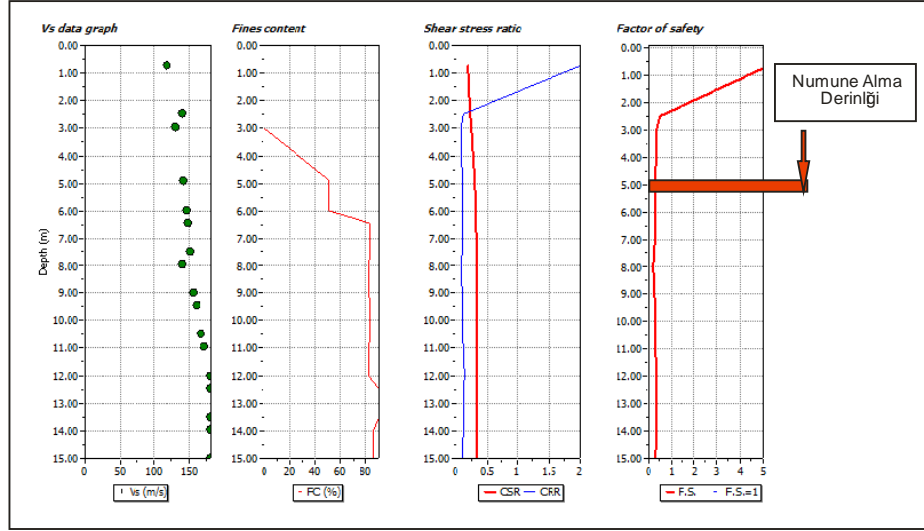
Şekil 7. Sismik lokasyonlardan numune alma örneklem haritası

Sıvılaşma riski taşıyan lokasyonlarda, yeraltı su seviyesi (YASS) göz önüne alınarak; numuneler sırasıyla SK-8’de 5m, SK 22’de 4,90 m derinliklerden alınmıştır. Arazideki sıvılaşma riski taşıyan

lokasyonlardan numune alma derinlikleri ve analizlere esas kuyulara ait SK profilleriyle ilgili bilgiler Şekil 8–Şekil 9’da verilmiştir.



Şekil 8. Lokasyon No.8’e ait zemin profili ve numune alma derinliği



Şekil 9. Lokasyon No.22'e ait zemin profili ve numune alma derinliği

Zeminlerin arazideki doğal ortam özelliklerini temel olarak laboratuarda aynı özellikleri benzeştirecek şekilde numune hazırlanması gerekliliği yaklaşımıyla, alınan örselenmemiş numunelere, indeks deneyleri

yapılmış ve sonuçları aşağıda Çizelge 5'de verilmiştir. Bu değerlendirmelere göre zemin numuneleri, siltli kum özellikleri göstermektedir.

Çizelge 5. Araziden alınan numunelerin fiziksel özellikleri

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

#### 4.4. Numune Hazırlama ve Devirsel Deneylerin Yapılması

##### 4.4.1. 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 yüksekliği 76 mm olmak üzere, Ladd [1989] tarafından ortaya konulan ıslak tokmaktama 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 10).



Şekil 10. Devirsel Üç eksenli deney numune hazırlanması



Şekil 11. Dinamik üç eksenli numunesinin doyurulma aşaması

#### 4.4.2.Devirsel Deneylerin Yapılması

Tekrarlı yükler altında zeminlerin dinamik davranışlarını belirlemek için dinamik üç eksenli deney sistemi kullanılmıştır. Deney aleti düşey yük yükleme kapasitesi 5000N, hücrenin kapasitesi 1000kN/m<sup>2</sup> 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 doymun hale getirilmesi için, 50 kN/m<sup>2</sup> çevre basıncıyla birlikte CO<sub>2</sub> (karbondioksit gazı) verilmiş ve numunelerin içinde hapsolmuş havayla CO<sub>2</sub> gazının yer değiştirilmesi sağlanarak, çevre basıncı 400 kN/m<sup>2</sup> (kPa), geri basınç 380 kN/m<sup>2</sup> (kPa) olarak uygulanarak, hızlı ve güvenilir bir şekilde doyurulmaya çalışılmıştır (Şekil 11).

Numune bu gerilme şartları altında uzun süre bekletilerek, en az % 95 doygunluğa ulaştığında, geri basınç 380 kN/m<sup>2</sup>, çevre basıncı 430 kN/m<sup>2</sup> yapılarak 50 kN/m<sup>2</sup>'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 [2002] göre yapılmıştır. Drenajsız olarak dinamik yükleme yapılırken; düşey yük, düşey deplasman, 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 aksel 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 olan parametreler hesaplanmış ve Çizelge 6'de verilmiştir.

Çizelge 6. Lokasyonlar için gerekli olan parametreler

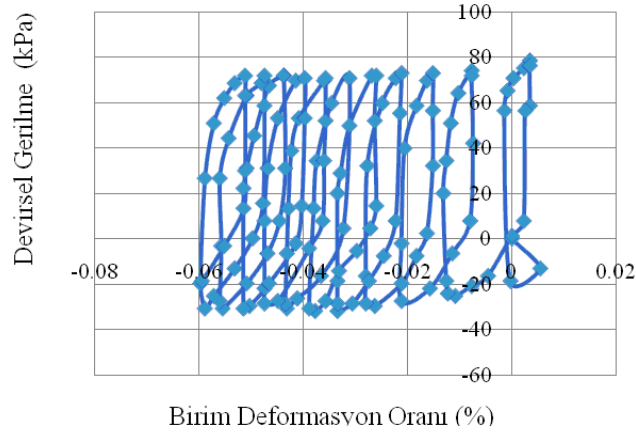
Devirsel Üç Eksenli Test Parametreleri	Deney Grubu 1	
Lokasyonlar	SK-8	SK-22
Rölatif Sıklık Oranı (RD), % (Laboratuvar)	45	66
Numune Miktarı, (M <sub>S</sub> ) (gr)	120,2	119,7
Su miktarı, (W) (gr)	41,9	41,7
Eşdeğer Gerilme Çevrim sayısı, N <sub>Eş</sub>	14	14
DevirsekYük, (P <sub>d</sub> ) (kgf)	5,6	5,7
Maksimum Boşluk Oranı (e <sub>maks</sub> ), %	1,12	1,28
Boşluk Oranı (e), %	1,024	1,10
Devirsel Gerilme Oranı (DGO, $\tau_d/\sigma_c$ )	0,31	0,32
Frekans (Hz)	0,5	0,5
Minimum Boşluk Oranı (e <sub>min</sub> ), %	0,531	0,89
Laboratuvarında uygulanan Çevrim sayısı, N <sub>Lab</sub>	40-50	40-50

#### 4.4.2.1. Deney Grubu 1 Numunelerinin Deney Sonuçları

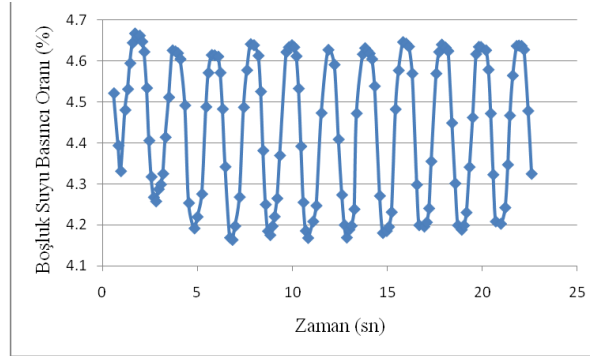
Burada deney grubu 1 olarak belirtilen numuneler SK-8 ve SK-22'nolu lokasyonları temsil etmektedir (Çizelge 4, Şekil 7). Ancak burada örneklem olarak SK-22'nolu lokasyona ait olan numuneler seçilmiş ve devirsel yüklemeler bu lokasyondan alınan

numunelere uygulamıştır. Uygulanan deneyler aşağıda verilmiştir.

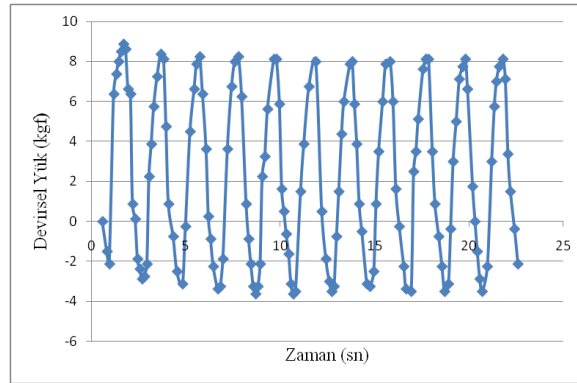
Çizelge 6'da verilen parametrelere göre, rölatif sıklığı,  $D_r=0.66$  oranında laboratuvarında yeniden hazırlanarak devirsel üç eksenli deney yapılmış ve deney sonucu Şekil 12'de verilmiştir.



(a). SK-22 Numunelerinin, devirsel gerilme ve birim deformasyon ilişkisi



(b). SK-22 Numunelerinin, zaman ile boşluk suyu basıncı oranı ilişkisi



(c). SK-22 numunelerinin zaman ile devirsel yük ilişkisi

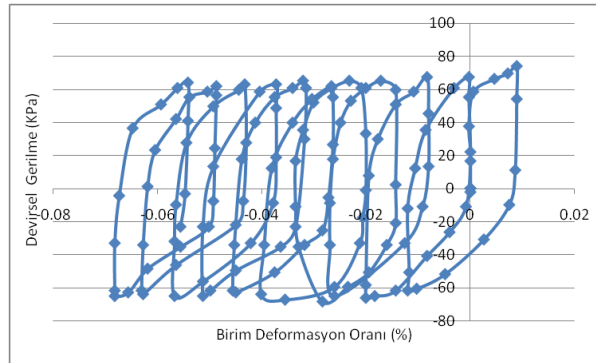
**Şekil 12.** SK-22 Numunelerinin devirsel üç eksenli deney sonuçları

Burada doğal ortama göre hesaplanan DGO (devirsel gerilme oranı) değerleri referans alınarak, devirsel gerilme oranı ( $\tau_d/\sigma_c$ ) 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. Çizelge 6) üç (3) katı kadar olan (40 çevrim) sayısı yaklaşımla karşılaştırma yapılmak amacıyla numuneler sinüzoidal devirsel yüklemeye maruz bırakılmıştır. Suya doymuş 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 ( $\Delta U/\sigma_c$ ) 0,70 değerinin üzerine çıkamamış ve zamanla bir miktar azalmıştır. Diğer yandan birim kayma deformasyonları ( $\delta$ ) 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

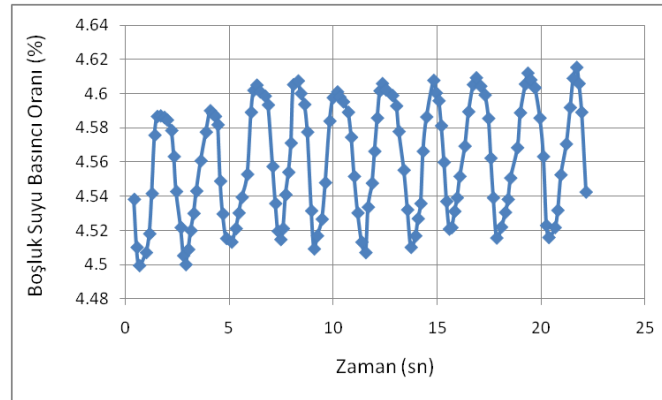
çıkış ve deney sonlanmıştır. Deneyde uygulanan  $N_{Lab}=40$ . çevrim sonunda, diğer bir ifade ile eşdeğer çevrim sayısı ( $N_{Eş}=14$ ) sonunda boşluk suyu basıncı ( $\Delta U/\sigma_c$ ) %90 seviyesine çıkamadığı için bu lokasyondan alınan numunelerin sıvılaşmadığı gözlenmiştir.

#### 4.4.2.2. Rölatif Sıklık % 50'e Düşürülerek Alternatif Araştırma Yapılmış ve Aşağıda Verilmiştir

Bu lokasyona ait numuneler yukarıda rölatif sıklık değeri yüzde 66 oranında hazırlanması halinde sıvılaşmaması sonucunda rölatif sıklığı,  $D_r = \%66$ 'dan  $D_r = \%50$ 'ye düşürülerek, numune yeniden hazırlanmış ve tekrar aynı şartlarda devirsel üç eksenli deney uygulanması gerçekleştirilmiştir. Numuneler önce sisteme yerleştirilmiş ve doyurularak bu gruba ait olan aynı parametreler (Deney grubu 1, Çizelge 6) uygulanmıştır. Bu işlemten sonra, numunelere, devirsel gerilmeler, boşluk suyu basıncının ortalama efektif çevre basıncına eşit veya boşluk suyu basıncının sabitleştiği duruma erişinceye kadar uygulanmıştır (Şekil 13).



(a). SK-22 numunelerinin, gerilme ile birim deformasyon ilişkisi



(b). SK-22 numunelerinin, zaman ile boşluk suyu basıncı oranı ilişkisi

**Şekil 13.** SK-22 Rölatif sıklığın %50 oranında tekrarlanan devirsel deney sonuçları

Rölatif sıklık değerinin yüzde 66 oranında sıvılaşmaması sonucu, rölatif sıklığın azaltılarak %50 oranında yeniden hazırlanması halinde yapılan deneylerin boşluk suyu basıncı oranı, birim deformasyon-devirsel gerilme oranı ve kayma gerilmesinin zamana göre değişimleri Şekil 13’de gösterilmiştir.

Devirsel gerilme oranı (DGO)  $\tau_d/\sigma_c=0,33$  ve devirsel yük 5,6 kgf, frekans 0,5Hz olmak üzere ve çevrim sayısı  $N_{Lab}=40$  olarak, numunelere sinüzoidal devirsel yüklemeler uygulanmıştır. Şekil 14’den görüldüğü gibi, gerilme seviyesinin tekrarı ile boşluk suyu basıncında ve birim şekil değiştirmelerde artışlar meydana gelmiştir. Çevrim sayısı 30 olduğunda ( $N_{Lab}=30$ , 40’dan geriye doğru sayılmıştır ve  $N_{Eş}=10$ ’a karşılık gelmektedir), boşluk suyu basıncı artarak ( $\Delta U/\sigma_c=0,90$ ) değerine çıkmış ve efektif gerilmeye (konsolidasyon basıncına) eşit düzeye yükselmiştir.

Güvenlik faktörüne gelince, 0,71 ( $N_{Lab}=10$ ,  $N_{Eş}=14$  olarak kaydedilmiş) olarak bulunmuş ve bu deney sonucu bu lokasyonda zemin ortamının *sıvılaşabileceğini göstermiştir*.

Devirsel gerilmenin değişimi ise boşluk suyu basıncının zamanla sabitleşmesine rağmen devirsel yük  $N_{Lab}=40$ . çevrim sayısına kadar devam ederek, sıvılaşmadan dolayı numunenin dengesi bozulduğu için pozitif yöne doğru kayarak diğer bir ifade ile yenilme ölçütü  $\delta=\pm 40$  sınırları arasında hareket ederek deney sonlandırılmıştır.

## 5. Sonuçlar

Üç aşamadan oluşan bu çalışmada, önce, Saruhanlı (Manisa) ilçesinde imara açılan ve sıvılaşma potansiyeli taşıyan alandaki sismik (SK) verileri ile, deprem kaynağı olarak Gediz Grabeni Fay zonu tepit edilmiş ve bu fay zonunun üretmesi beklenen tasarım parametreleri; “maksimum yatay deprem ivmesi 0,28g ve moment magnitudü 7,1”, olarak hesaplanmış olup bu parametrelere göre sıvılaşma analizi yapılmıştır. Analizler sonucu, Bölgede yüksek sıvılaşma potansiyeli gösterebilen noktalar belirlenmiştir (Grup 1).

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 ortamının özelliklerinin (rölatif sıklık, su muhtevası, boşluk oranı, birim hacim ağırlık) belirlendiği ve bu şartlar referans alınarak laboratuvarında ıslak tokmaktama yönteminden yararlanarak SK-22 kuyusundan alınan numuneye kendi rölatif sıklık değerlerinde (SK-22 , için  $D_r=66$ ) şartlarında yeniden numune hazırlanmıştır. Devirsel üç eksenli deney cihazında, drenajsız şartlar altında gerilme kontrollü, devirsel

yükler uygulanarak, zeminlerin devirsel davranışları ve sıvılaşma özellikleri incelenerek çalışma alanının sıvılaşma potansiyelinin daha kararlı tespiti yapılmıştır. Laboratuvarında yapılan devirsel üç eksenli deneyler sonucunda; SK-2 Kuyusunda  $D_r =\%66$  olan lokasyonda sıvılaşma gerçekleşmemiştir.

Üçüncü aşamada arazide bulunduğu doğal ortamın koşulları altında numuneye dinamik üç eksenli deneyi uygulandığında sıvılaşmaması sonucunda, rölatif sıklığı % 50’ye indirilmiş ve numune yeniden hazırlanarak dinamik üç eksenli deneyi altında aynı şartlarda yükleme yapılmıştır ve deney sonunda numunenin sıvılaşığı görülmüştür.

## 6. Teşekkür

Tez çalışmamda bana ellerindeki sondaj çalışmalarının sonuçlarını veren İller Bankası Makine ve Sondaj Dairesi Başkanlığı, başda başkan ve başkan yardımcılara ve diğer tüm personeline, Saruhanlı (Manisa) Belediyesi başkanı ve bütün personeline, ayrıca bu çalışmanın yürütülebilmesi için maddi destek sağlayan Gazi Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Müdürlüğüne (Proje no. 07/2009-11) ve çalışanlarına teşekkür ederiz.

## 7. Kaynaklar

- [1] Andrus, R.D., and Stokoe, K.H.,II, (2000). Liquefaction resistance of soils from sheare wave velocity. *Journal of Geotechnical and Goenvironmental Engineeing ASCE*, 126(11),1015-1025.
- [2] 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, London, 385-403.
- [3] Bulut, İ., Sağlam, M., Bektaş, İ.A., Şahin, M.S., Demir, M., Uran, Ş., Üçkardeşler, C.,Güner, F., Araz, A.H., 2006 Saruhanlı (Manisa) Belediyesi Jeoteknik Etüt Gerektiren Alanların (Jega) İmar Planına Esas Jeolojik-Jeoteknik Etüt Raporu, İller Bankası Rapor No. İLB-I/45-039-004, Ankara, 1-53.
- [4] Casagrande, A., 1936 “Charecteristic of cohesionless soils affecting the stability of slopes and earthfills”, *Journal of The Boston Society of Civil Engineers*, Reprinted İn *Contributions To Soil Mechanics*, Boston Society of Civil Engineers,1: 257-276.
- [5] Castro, G., 1975 “Liquefacion and cyclic mobility of saturated sands”, *Journal of The Geotechnical Engineering Division, ASCE*, 101(GT6): 55-569.
- [6] Çiftçi, N.B., and Bozkurt, E., 2008 Pattern of normal faulting in the Gediz Graben, SW Turkey. *Tectonophysics, Sedimentary Geology*, 473(1-2): 234-260.
- [7] Çiftçi, 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.
- [8] Internet: Geologismiki (2006) “LiqIT 4.7.3, Sıvılaşma Analizi Yazılımı” [www.geologismiki.gr](http://www.geologismiki.gr) (2006).
- [9] Ishihara, K., 1985 “stability of natural deposits during earthquakes”, *Proceedings of The 11<sup>th</sup> International Conferans on Soil Mechanics And Foundation Engineering*, Sanfrancisco, 2: 321-376.
- [10] 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, USA vol. 3, 1319-1330.
- [11] 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.
- [12] Liao, S. S. C. and Whitman, R. V. (1986). “Catalogue of Liquefaction and Non-liquefaction Occurrences during Earthquakes”, *Research Report*, Department of Civil Engineering Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, Massachusetts.
- [13] Kramer, S. L., 1996 ”Geotechnical earthquake engineering”, Prentice-Hall, N. J., London: 45-448.
- [14] Mark, R. K., 1977 Application of Linear Statistical Model Of Earthquake Magnitude Versus Fault Length İn Estimating Maximum Expectable Earthquakes, *Geology*, 5: 464- 466.
- [15] Özaydın, K., 2007 Zeminlerde Sıvılaşma, Altıncı Ulusal Depem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 231-255, 16-20 Ekim.
- [16] Robertson, P.K., and Wride, C.E., 1998 Evaluating cyclic liquefaction potential using the Cone Penetration Test, *Canadian Geotechnical Journal*, 35(3), 442-459.
- [17] Sarı, C., 2003 Gravite Verilerinin Tekil Değer Ayrıştırma Yöntemiyle Ters Çözümü, Gediz Ve Büyük Menderes Grabenlerinin Tortul Kalınlıklarının Saptanması, DEÜ Mühendislik Fakültesi Fen Ve Mühendislik Dergisi, 14 (2), 11-23.
- [18] Seed, H.B., Idriss, I.M., 1971 Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential, *Journal of Geotechnical Engineering, ASCE*, 97(9), 1249-1273.
- [19] Sykora, D.W., (1987). Creating of a Data Base of Seismic Shear Wave Velocities For Correction Analysis. *Geotechnical Laboratory Miscelleanous Paper GL 87-26*. U.S Army Engineer Waterways Experiment Station, Vicsburg, MS.
- [20] Wells, D.L. and K.J. 1994 Coppersmith, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bull, Seismol, Soc, America.*, 84, 974-1002.
- [21] 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.
- [22] 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.