

Standard Penetrasyon Deneyi (SPT) İle Kaytazdere (İzmit) Trafik Gözetleme İstasyonu Zemininin Sıvılaşma Potansiyelinin Araştırılması

Ali ATEŞ*, Adil ÖZDEMİR**

*Düzce Üniversitesi Teknoloji Fakültesi İnşaat Mühendisliği Bölümü

Konuralp Yerleşkesi /DÜZCE

**Fevzi Çakmak 2. Sok. 40/ 17 Kızılay / ANKARA

ÖZET

Bu çalışma, Kaytazdere (İzmit) ilçesinde inşası planlanan Trafik Gözetleme İstasyonu (TGI) yerleşim alanı içerisindeki alüvyal zeminlerin olası bir deprem etkisinde sıvılaşma potansiyelinin, arazi (SPT) verileri kullanılarak belirlenmesini içermektedir. Bu amaçla, yapı oturma alanında yapılan 2 adet sondaj çalışmasına ait olan SPT verileri kullanılmıştır. Çalışma alanından yaklaşık 30 km güneyinde “Kuzey Anadolu Fay Zonunun kuzey kolu” yer almaktadır. Bu fay zonunun yapı alanını etkileyebileceği ve en büyük ivmeyi yaratabileceği varsayılarak, araştırmaya esas alınmıştır. Toplam 105 km uzunluğundaki bu fay zonunun, olası bir depremde 1/3'nün kırılması tahmin edilerek, moment magnitudü 6.9 ve Türkiye’de bulunan faylar için geliştirilen deprem atenasyon eşitliği kullanılarak 0,48g büyüklüğünde yatay deprem ivmesi oluşabileceği hesaplanmış ve SPT verileri kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır. Analiz sonuçlarına göre, Trafik Gözetleme İstasyonu inşaatı yapılacak alanın yüksek dereceli sıvılaşma riski taşıdığı ortaya konulmuştur.

Anahtar Kelimeler: SPT, Sıvılaşma riski, İzmit-Kaytazdere

Investigation of Liquefaction Potential of Soils of The Traffic Control Tower in Kaytazdere Region (Western Turkey) Using Standard Penetration Test

ABSTRACT

This study includes the determination of the liquefaction potential developed for the residential area covered by alluvial deposits using SPT (Standard Penetration Test) data under the effect of the probable earthquake effect in Kaytazdere (İzmit) District. For this reason, two data were evaluated. North Anatolian Fault Zone was a length of 105 km in length and approximately passes through in a distance of 30 km in the South of study area (Kaytazdere District). It was predicated to affect the region and create the biggest peak horizontal acceleration due to earthquake. In a probable earthquake effect, it was calculated an earthquake of moment magnitude as $M_w=6.9$, considering that North Anatolian Fault Zone may be cracked 1/3 of the total length. Using attenuation relationships developed for Turkey a peak ground acceleration of 0.48g was calculated for the study site. According to the these results, the liquefaction analysis was performed using the SPT data and two locations were determined as liquefiable.

Keywords: Standard penetration test, İzmit-Kaytazdere, liquefaction risk

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Depremler esnasında suya doymuş 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 çökelme koşulları, başlangıç sıklık derecesine bağlı hacim değişim potansiyeli ve su geçirgenliği gibi özellikleri yanında depremin büyüklüğü, süresi uzaklığı gibi sismik faktörlere de

bağlıdır [1]. 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 çekmiştir.

Bu çalışmada, Kaytazdere (İzmit) bölgesinde inşası planlanan Trafik Gözetleme İstasyonu (TGI) zemininin jeolojik ve jeoteknik özelliklerini ortaya koymak ve olası bir depreme karşı dayanıklılığının tespitine yönelik yapılan çalışma kapsamında elde edilen SPT verileri kullanılmıştır. İnşası planlanan yapı alanında alüvyal zeminlerin sıvılaşma riski

* Sorumlu Yazar (Corresponding Author)

e-posta: aliates@düzce.edu.tr

Digital Object Identifier (DOI) : 10.2339/2012.15.3, 139- 150

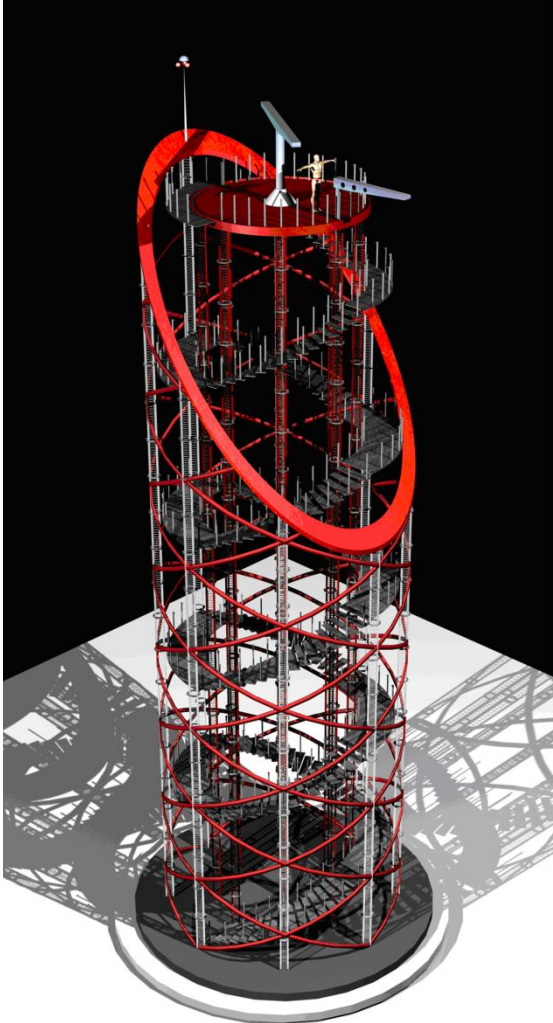
değerlendirilmiştir. Bu amaçla, bölgenin jeolojisinden, depremselliğinden, olası deprem odaklarının uzaklığı ile oluşturacakları yer ivmesi ilişkilerinden, zemine ait granülometri değerlerinden ve SPT verilerinden yararlanılarak sıvılaşma analizleri yapılmış ve Iwasaki vd. [2] kriterleri baz alınarak sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır.

2. MATERYAL VE METOT (MATERIAL AND METHODS)

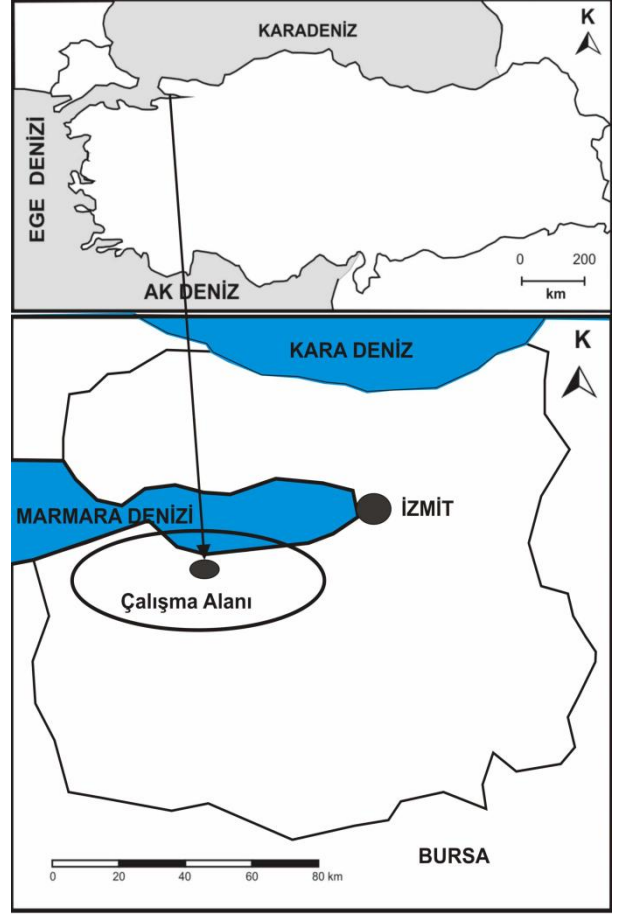
2.1. Materyal (Material)

2.1.1. Çalışma Alanının Tanımlanması (Description of Study Area)

Kaytazdere, E-130 İzmit-Yalova karayolu üzerindedir. Yalova'ya 24 kilometre, Kocaeli'e 45 kilometre uzaklıktadır. Çalışma alanına 60 m yüksekliğinde ve 10 m genişliğinde Trafik Gözetleme İstasyonu (TGI) yapılması planlanmaktadır. Ayrıca, bu istasyonun yanında, çeşitli konteynerler yer alacaktır. Yapılacak olan Trafik Gözetleme İstasyonu Şekil 1'de verilmiştir. İnceleme alanı ile ilgili hazırlanan lokasyon haritası Şekil 2'de verilmiştir.



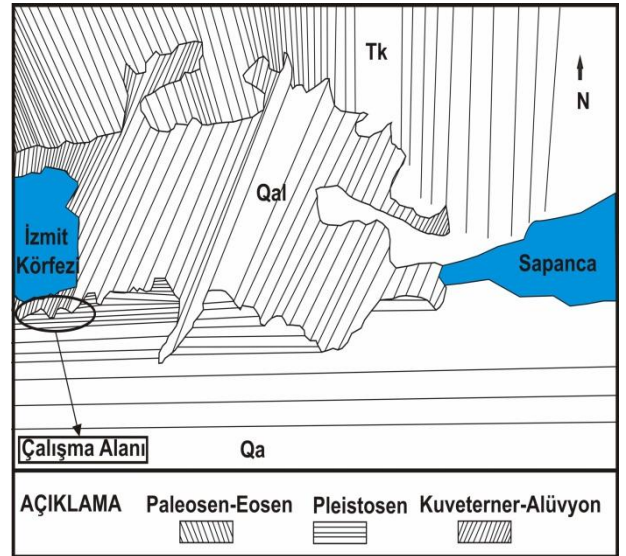
Şekil 1. Trafik Gözetleme İstasyonu görüntüsü



Şekil 2. Lokasyon haritası

2.1.2. İnceleme Alanının Jeolojisi (Geology of the Region)

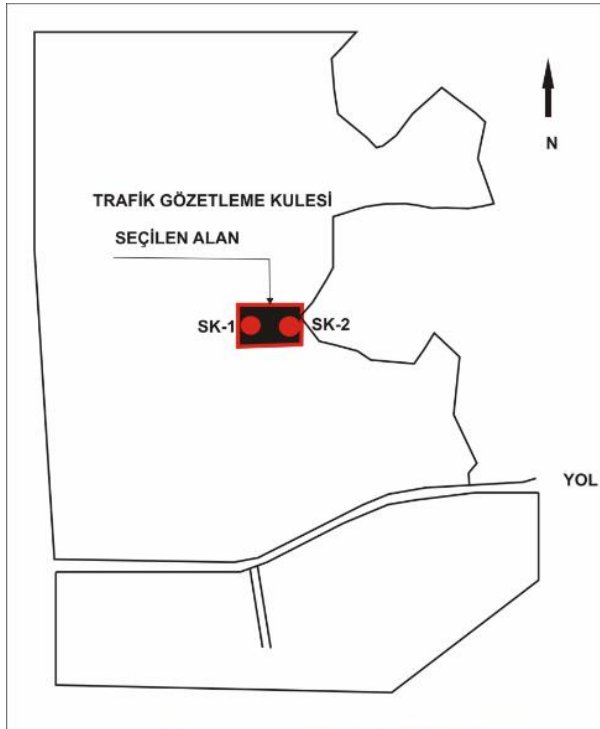
Çalışma alanının sahil kısmı genel olarak deniz birikintilerinden, yamaçlar ise kumtaşlarının dezegregasyonundan meydana gelmiş, bol mikalı, siltli kalın bir toprak tabakası ile örtülüdür. Bölgenin jeoloji haritası Şekil 3'de verilmiştir [3].



Şekil 3. Jeoloji haritası (1/500 000 Ölçekli) [3]

2.1.3. Sondaj Çalışmaları (The Drilling Works)

Çalışma alanında yapılan sondajlar temel zeminlerinin litolojik özelliklerini, düşey ve yanıl doğrultudaki değişimlerini ve yer altı suyu durumu ile mühendislik parametreleri gibi bilgileri belirleme amacıyla yönelik yapılmıştır. Sondajlar TS-1901'e uygun olarak ve sondaj ilerlemesi burgulu-sulu rotary sistemle yapılmıştır[4]. Sondaj çalışmaları kamyon üzerine monteli D-500 tipi rotary sistemle çalışan sondaj makinesi ile yürütülmüş olup, bir jeoloji mühendisinin denetiminde üç kişilik teknik bir ekip marifetiyle gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanlarında temel zemininin jeolojik ve jeoteknik özelliklerini belirlemek amacıyla ile her birinin derinliği 20 m olan 2 adet jeoteknik sondaj yapılmıştır. Sondaj çalışmalarına ait sondaj yerleri Şekil 4'de görüntüler ise Şekil 5'de verilmiştir.



Şekil 4. Sondaj kuyuları vaziyet planı



Şekil 5. Arazide SPT deneyine ait sondaj çalışması

2.1.4. Arazi Deneyleri (Field Tests)

Sondaj çalışmaları esnasında; ilerlemeye paralel olarak, her 1.50 m de bir 2 kuyuda toplam 26 adet SPT (Standart Penetrasyon Testi) kaydedilmiş ve örselenmiş örnekler alınmıştır. SPT, esas olarak yerinde yapılan bir dinamik kesme deneyidir. Kesme direnci daneli zeminlerde zeminin izafi sıkılığına, kohezyonlu zeminlerde ise zeminin mukavemet parametrelerine bağlıdır. Bu sebeple penetrasyon deneyi sonuçları ile taşıma gücü arasında gerçeğe uygun bir bağıntı kurulabildiği gibi diğer mühendislik hesaplamalarında da kullanılmaktadır. Bu SPT deneyinde, Türkiye'de çoğunlukla kullanılan % 45 enerjili donut şahmerdan düzeneği kullanılmıştır.

SPT deneyleri sırasında alınan örselenmiş örnekler 2" dış çaplı ve 1^{3/8}" iç çaplı yarık numune alıcı ile alınmıştır. Alınan numuneler doğal özelliklerini kaybetmemesi için iç içe geçmiş iki ayrı naylon torba içine konmuş, etiketlenmiş ve ağızları hava almayacak şekilde sıkıca bağlanmıştır.

2.1.5. Arazi Verileri (Field Data)

Bu çalışmada, sıvılaşma potansiyeli analizinde, sondajlarda kaydedilen SPT (Standard Penetrasyon Testi) verileri kullanılmıştır [4]. Zemin sondaj çalışmaları esnasında; ilerlemeye paralel olarak, her 1.50 m de SPT deneyi yapılmış ve örselenmiş örnekler alınmıştır. Alınan örnekler gerekli deneyler yapılmak üzere laboratuvara gönderilmiş, tipik zemin özellikleri gösteren ve farklı zemin seviyelerini temsil eden örnekler üzerinde zeminlerin fiziksel ve mühendislik özelliklerini belirlemeye yönelik gereken deneyler yapılmıştır. Ayrıca sondajlarda SK-1 ve SK-2 kuyularında 0.70 m derinliklerde su seviyesine rastlanılmıştır. Sondajlarda yeraltı suyu mevcut olduğundan yeraltı suyu seviyesine göre düzeltme yapılmıştır. Burada; Enerji oranı düzeltme faktörü; SPT-N değeri düzeltilmesinde $n_1=45/60$ faktörü kullanılmıştır; tij uzunluğu 0-4 m için $n_2=0.75$, 4-6m için $n_2=0.85$, 6-10 m için $n_2=0.95$ ve 10 m ve üzeri için $n_2=1.0$ değerleri kullanılmıştır, Numune alıcı düzeltme faktörü olarak, iç tüp kullanılmıştır; $n_3=1$, Kuyu çapı düzeltme faktörü, kuyu çapı 80 mm için; $n_4=1$ alınmış ve bu değerlere göre SPT-N değerleri düzeltilmiştir, (Çizelge 1 ve Çizelge 2).

2.1.6. Yeraltı Suyu Durumu (Groundwater Status)

Sıvılaşma potansiyeli olan bölgeleri belirlemede, dikkat edilmesi gereken önemli parametrelerden birisi de, yer altı suyunun yüzeyden itibaren derinliğidir. Çalışma alanında yer altı suyu durumuna gelince, yeraltı suyu yaz ve kış aylarında mevsimsel olarak değişmektedir. Kaytazdere, Marmara denizi kenarında kurulmuş bir yerleşim birimidir. Etüt alanı yaklaşık olarak deniz seviyesindedir. Çalışma alanının rakımı 0'dir.

Çizelge 1. SK-1 Kuyusu İçin Düzeltilmiş SPT-N₆₀ değeri

Deney Derinliği	\square	\square_{eff}	SPT-N Değeri	Yeraltı Su Seviyesi Düzeltmesi	Düzeltilme Faktörü	Enerji Oranı Düzeltme Faktörü	Sondaj Tijleri Düzeltme Faktörü	Numune Alıcı Düzeltme Faktörü	Kuyu Çapı Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş SPT Değeri
m	(kN/m ³)	(kN/m ²)	SPT-N	$N' = [15+0.5(N_F - \dots)]$	$C_N [(95.76 + \sigma_v)^{0.5}]$	n_1	n_2	n_3	n_4	N' ₆₀
1,5	18,50	19,90	11	11	2	0.75	0.75	1	1	12
3,0	18,50	32,94	8	8	1,71	0.75	0.75	1	1	7
4,5	18,50	45,97	15	15	1,44	0.75	0.85	1	1	13
6,0	18,50	59,01	20	18	1,27	0.75	0.85	1	1	14
7,5	18,50	72,04	18	17	1,15	0.75	0.95	1	1	13
9,0	18,50	85,08	20	18	1,06	0.75	0.95	1	1	13
10,5	18,50	98,11	28	22	0,99	0.75	1	1	1	16
12,0	18,50	111,15	32	24	0,93	0.75	1	1	1	16
13,5	18,50	124,18	28	22	0,88	0.75	1	1	1	14
15,0	18,50	137,22	29	22	0,84	0.75	1	1	1	13
16,5	18,50	150,25	35	25	0,80	0.75	1	1	1	15
18,0	18,50	163,29	42	29	0,77	0.75	1	1	1	16
19,5	18,50	176,32	44	30	0,74	0.75	1	1	1	16

Çizelge 2. SK-2 Kuyusu İçin Düzeltilmiş SPT-N₆₀ değeri

Deney Derinliği	\square	\square_{eff}	SPT-N Değeri	Yeraltı Su Seviyesi Düzeltmesi	Düzeltilme Faktörü	Enerji Oranı Düzeltme Faktörü	Sondaj Tijleri Düzeltme Faktörü	Numune Alıcı Düzeltme Faktörü	Kuyu Çapı Düzeltme Faktörü	Düzeltilmiş SPT Değeri
m	(kN/m ³)	(kN/m ²)	SPT-N	$N' = [15+0.5(N_F - \dots)]$	$C_N [(95.76 + \sigma_v)^{0.5}]$	n_1	n_2	n_3	n_4	N' ₆₀
1,5	18,50	19,90	13	11	2	0.75	0.75	1	1	12
3,0	18,50	32,94	10	10	1,71	0.75	0.75	1	1	9
4,5	18,50	45,97	14	14	1,44	0.75	0.85	1	1	12
6,0	18,50	59,01	21	18	1,27	0.75	0.85	1	1	14
7,5	18,50	72,04	18	16	1,15	0.75	0.95	1	1	13
9,0	18,50	85,08	20	17	1,06	0.75	0.95	1	1	12
10,5	18,50	98,11	24	19	0,99	0.75	1	1	1	14
12,0	18,50	111,15	24	19	0,93	0.75	1	1	1	13
13,5	18,50	124,18	28	21	0,88	0.75	1	1	1	13
15,0	18,50	137,22	31	23	0,84	0.75	1	1	1	14

Sondaj çalışmaları sırasında ve bitiminden bir gün sonra yapılan ölçümler sonucunda SK-1 kuyusunda 0.70 m, SK-2 kuyusunda 0.70 m derinliklerde yeraltı suyu rastlanmıştır.

2.1.7. Laboratuvar Sonuçları (Laboratory Results)

İnceleme alanında yapılan sondajlardan alınan örselenmemiş(SPT) örnekler üzerinde, zeminlerin

deneyle yapılmıştır. Deneysel sonuçları aşağıda Çizelge 3 ve 4'de verilmiştir

2.1.8. Zemin Profili (Soil Profiles)

İnceleme alanında yapılan sondaj verilerine göre zemin profili; SK-1 kuyusunda;0.00–0.30 m kalınlığında bitkisel toprak, buradan kuyu sonuna kadar siltli kum şeklindedir (Şekil 6). SK-2 kuyusunda aynı şekilde;0.00–0.30 m kalınlığında bitkisel toprak,

Çizelge 3. Kaytazdere SK-1 Laboratuvar Sonuçları

Numune			Su Muhtevası W_n (%)	Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (kN/m^3)	Atterberg Limitleri			Elek Analizi (Yüzde Geçen)				USCS Zemin Sınıflandırılması
Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)			LL	PL	PI	4 (%)	10 (%)	40 (%)	200 (%)	
SK-1	SPT-1	1.5-1.95	16.1	18.35		N.P		69.7	52.1	25.2	19.5	SM
SK-1	SPT-2	3.0-3.45	25.1	18.69		N.P		86.3	78.8	64.1	49.9	SM
SK-1	SPT-3	4.5-4.95	18.1	18.41		N.P		80.9	65.1	38.9	28.8	SM
SK-1	SPT-4	6.0-6.45	27.6	18.74		N.P		99.8	99.3	89.7	57.1	ML
SK-1	SPT-5	7.5-7.95	23.4	18.25		N.P		100	97.3	38.0	13.4	SM
SK-1	SPT-6	9.0-9.45	23.7	18.52		N.P		92.9	83.4	62.9	43.3	SM
SK-1	SPT-7	10.5-10.95	19.8	18.33		N.P		75.8	68.8	33.9	22.4	SM

Çizelge 4. Kaytazdere SK-2 Laboratuvar Sonuçları

Numune			Su Muhtevası W_n (%)	Doğal Birim Hacim Ağırlığı γ_n (kN/m^3)	Atterberg Limitleri			Elek Analizi (Yüzde Geçen)				USCS Zemin Sınıflandırılması
Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)			LL	PL	PI	4 (%)	10 (%)	40 (%)	200 (%)	
SK-2	SPT-1	1.5-1.95	16.3	18.75		N.P		79.7	53.1	25.9	19.5	SM
SK-2	SPT-2	3.0-3.45	25.8	18.89		N.P		89.3	88.8	74.1	49.9	SM
SK-2	SPT-3	4.5-4.95	17.1	18.81		N.P		83.9	75.1	48.9	28.8	SM
SK-2	SPT-4	6.0-6.45	28.6	18.64		N.P		97.8	97.9	87.7	57.1	ML
SK-2	SPT-5	7.5-7.95	25.4	18.75		N.P		99.8	97.3	58.0	13.4	SM
SK-2	SPT-6	9.0-9.45	27.7	18.92		N.P		97.9	87.4	72.9	43.3	SM
SK-2	SPT-7	10.5-10.95	21.8	18.83		N.P		79.8	78.8	39.9	22.4	SM

mühendislik özelliklerini belirlemeye yönelik, Elek Analizi ve Atterberg Limitleri ve zemin sınıflamaları

buradan kuyu sonuna kadar siltli kum şeklindedir (Şekil 7).

Proje İsmi / Project Name		DENİZCİLİK MÜŞTERALİĞİ				Kuyu No / BH No		SK - 1	
Proje Yeri / Project Location		KAYTAZDERE - İZMİT				Sayfa / Sheet		1	
Kot / Ground Elevation (m)		Tarih		Derinlik		YASS		Açıklama	
		25.04.2008		0,7				Başlangıç Tarihi / Start Date	
Koordinatlar / Coordinates (m)		N		E				Bitiş Tarihi / Finish Date	
								24.04.2008	
İstasyon / Station (km)		Sondaj Yöntemi / Drill Method		Sondaj Makinesi / Drill Rig		Kuyu Derinliği / BH Depth		Burgulu	
				D - 500		20,00 m			
Sapma / Offset (m)		Standart Penetrasyon Deneyi		Standard Penetration Test		Jeoteknik Tanımlama		Geotechnical Description	
		SPT		SPT		Geotechnical Description		Geotechnical Description	
Kuyu Derinliği	Örnek No	Örnek Derinliği	Örnek Türü	Malkap Tipi/Çapı	Mühürleme	Darbe Sayısı	Grafik	Profil	Symbol
BH Depth	Sample No	Sample Depth	Sample Type	Bit Type/Diameter	Casing	# of Blows	Graph		
m		m				15 30 45	10 20 30 40 50		
									Nebati Toprak (30 cm)
									Yeraltısuyu seviyesi 0,7 m
1									
2	1	1,50	SPT			3 5 6			
3	2	3,00	SPT			2 4 4			
4									
5	3	4,50	SPT			5 7 8			
6	4	6,00	SPT			6 9 11			
7									
8	5	7,50	SPT			8 9 9			
9	6	9,00	SPT			6 9 11			
10									
11	7	10,50	SPT			8 13 15			
12	8	12,00	SPT			11 15 17			
13									
14	9	13,50	SPT			10 12 16			
15	10	15,00	SPT			9 12 17			
16									
17	11	16,50	SPT			13 15 20			
18	12	18,00	SPT			14 18 24			
19									
20	13	19,50	SPT			13 19 25			
									Kuyu sonu 20,00 metredir

Şekil 6. Kaytazdere SK-1 Kuyusu SPT-N zemin profili

2.1.9. Deneyde Kullanılan Yazılımlar (Programs Used In Tests)

Bu çalışmada, arazide gerçekleştirilen SPT verileri ile sıvılaşma potansiyeli analizinde, Liq IT V.4.7.3 Geologismiki [5] yazılımı kullanılmıştır.

2.2. Metot (Methods)

Bu çalışma kapsamında çalışma alanından elde edilen SPT verileri esas alınarak, orijinal olarak Seed ve Idriss [6] tarafından geliştirilen ve daha sonra Youd vd. [7] tarafından revize edilen sıvılaşma analiz yöntemine göre Liq IT V.4.7.3 [5] Geologismiki yazılımı kullanılarak sıvılaşma analizleri yapılmıştır.

Bu analizler sonucunda elde edilen sonuçlara göre, İzmit (Kaytazdere) bölgesinde, TGI yapılacak alanda sıvılaşma potansiyelinin varlığı araştırılmıştır. Bu analizler sonucunda elde edilen sonuçlara göre Trafik Gözetleme İstasyonunun inşası amacıyla bölgenin depremden kaynaklanan sıvılaşmaya bağlı oluşan risk ortaya konulmuştur.

2.2.1. Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesindeki Kriterler (Criteria for Determining the Liquefaction Potential)

Analiz sonuçlarını esas alarak zeminlerin sıvılaşma dirençlerinin belirlenmesi, iki değişkenin hesaplanması veya tahmin edilmesini gerektirmektedir, bunlar;

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

Depremi 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.

2.2.1.1. Seed ve Idriss (1971) tarafından geliştirilen "Basitleştirilmiş" yönteme göre devirsel gerilme oranının (DGO) bulunması (Seed And Idriss (1971) developed by the "Simplified" method according to the cyclic stress ratio (DGO) finding)

Bu yöntemde göre deprem esnasında zemin tabakasında oluşacak devirsel gerilme oranı aşağıda verilen Eş.2'den hesaplanabilmektedir [6].

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

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

Efektif Gerilme azaltma katsayısı, Liao ve Whitman [8]'a göre aşağıdaki şekilde belirlenebilir;

$$rd = 1 - 0,00765z, \quad z \leq 9,15m \quad (3a)$$

$$rd = 1,174 - 0,0267 \cdot 9,15m < z \leq 23m \quad (3b)$$

Burada; (z) metre cinsinden derinliktir.

2.2.1.2. Youd vd. (2001)'e göre devirsel direnç oranının (DDO) bulunması (Youd et al., (2001), according to the cyclic resistance ratio (DDO) finding)

Bu yöntemde standard penetrasyon testi (SPT) verileri ile sıvılaşma direncinin belirlenmesinde Youd vd. [7] aşağıda verilen eşitliği (Eş. 4) önermiştir;

$$DDO_{7,5} = \frac{1}{34 - (N_1)_{60}} + \frac{(N_1)_{60}}{135} + \frac{50}{(10(N_1)_{60} + 45)^2} - \frac{1}{200} \quad (4)$$

Burada,

Sıvılaşma analizinde kullanılan düzeltilmiş SPT-N değerleri (N_1)₆₀ Youd vd. [7], Seed vd. [9] tarafından bazı kısımları modifiye edilerek ince tane oranının sıvılaşma direncine etkisinin de göz önünde bulundurulmasıyla aşağıdaki şekilde ifade edilmiştir.

$$(N_1)_{60k} = \alpha + \beta (N_1)_{60} \quad (5)$$

Burada, α , β ince tane oranı düzeltme katsayılarıdır ve aşağıdaki eşitliklerde verilmiştir.

$$\alpha = 0 \quad ; \quad \dot{I}TO \leq \%5 \quad (6)$$

$$\alpha = \exp[1.76 - (\frac{190}{\dot{I}TO^2})] \quad ; \quad \%5 < \dot{I}TO < \%35 \quad (7)$$

$$\alpha = 5.0 \quad ; \quad \dot{I}TO \geq \%35 \quad (8)$$

$$\beta = 1.0 \quad ; \quad \dot{I}TO \leq \%5 \quad (9)$$

$$\beta = [0.99 + (\frac{\dot{I}TO^{1.5}}{1000})] \quad ; \quad \%5 < \dot{I}TO < \%35 \quad (10)$$

$$\beta = 1.2 \quad ; \quad \dot{I}TO \geq \%35 \quad (11)$$

2.2.2. Sıvılaşma potansiyeli indeksinin belirlenmesi (Determination of liquefaction potential index)

Sıvılaşma konusunda sadece güvenlik faktörünün hesaplanması, geniş ve derin alanlar için göreceli bir değerlendirme yapılmasına ve sıvılaşma potansiyeli açısından sıvılaşma haritalarının hazırlanmasına doğrudan imkan vermemektedir. Bu durum göz önünde bulundurularak, Iwasaki vd. [2] tarafından güvenlik faktörünü de içerecek şekilde "sıvılaşma potansiyeli

indeksi” adı verilen bir parametre önerilmiştir. Iwasaki vd. [2] sıvılaşma indeksinin hesaplanması için aşağıdaki eşitlikleri (Eş. 12 ve Eş. 12a-Eş. 12d) önermiştir.

$$I_L = \int_0^{20} F(z)W(z)dz \quad (12)$$

$$F_S < 1,0 \quad \text{için}; \quad F(z) = 1 - F_S \quad (12a)$$

$$F_S \geq 1,0 \quad \text{için}; \quad F(z) = 0 \quad (12b)$$

$$z < 20 \quad \text{için}; \quad W(z) = 10 - 0,5z \quad (12c)$$

$$z \geq 20 \quad \text{için}; \quad W(z) = 0 \quad (12d)$$

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

Zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin derecelendirilmesinde Iwasaki vd. [2]'e göre hesaplanan sıvılaşma indeksleri Çizelge 5'deki gibi sınıflandırılabilir.

Çizelge 5. Sıvılaşma potansiyeli indeksine (I_L) göre sıvılaşma risk dereceleri [2]

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

Sıvılaşma analiz sonuçlarına göre elde edilecek güvenlik katsayıları, Iwasaki vd. [2] yöntemine göre Eşitlik 12 kullanılarak sıvılaşma indeksleri bulunacak ve analize dahil edilecektir. Sıvılaşma analizinden bulunacak indeksler değerleri yukarıda verilen (Çizelge 5) sınır değerleri ile karşılaştırılarak ilgili lokasyonlar sıvılaşma derecelerine göre gruplandırılacak ve sonuçları verilecektir.

3. ARAZİ VE LABORATUVAR ÇALIŞMALARININ DEĞERLENDİRİLMESİ (EVALUATION OF FIELD AND LABORATORY STUDIES)

3.1. Deprem Tasarım Parametrelerinin Hesaplanması (Calculation Of Earthquake Parameters)

İnceleme sahasının yaklaşık 30 km güneyinden 105 km uzunluğundaki Kuzey Anadolu Fay Zonunun kuzey kolu, 103 km güneyinden ise Kuzey Anadolu Fay Zonunun güney kolu geçmektedir (Şekil 8). Burada en yüksek ivme yaratabilecek fay zonu olarak, çalışma alanının 30 km uzağından geçen 105 km uzunluğundaki Kuzey-Anadolu Fay Zonunun Çınarcık ile Arifiye arasında kalan segmentinin 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 kaynağa (fay zonuna) dik çizilerek bu fay zonunun çalışma sahasına en kısa mesafesi kilometre (km) cinsinden ölçülmüştür (Şekil 8) [10].



Şekil 8. Çalışma sahasına 100 km çap içinde bulunan sismik kaynakların belirlenmesi [10]

Çalışma sahasında en yüksek ivme yaratabilecek olan Kuzey Anadolu Fay Zonunun ilgili segmenti, Mark [11] yaklaşımına göre olası bir depremde 1/3'sinin kırılacağı yaklaşımıyla, tasarım depreminin moment büyüklüğü, Wells ve Coopersmith [12]'in eşitliği kullanılarak aşağıdaki gibi hesaplanmıştır.

$$M = a + b \log (SRL) \quad (13)$$

Burada; M : Moment büyüklüğü, SRL : Beklenen yüzey kırığının uzunluğu (km), doğrultu atımlı faylar için (Kuzey Anadolu Fay Zonu); a : 5.16, b : 1.12 olarak alınmıştır.

Bu yaklaşıma göre Fay uzunluğunun, 1/3'sinin kırılması durumunda, "Moment Büyüklüğü" 6.9 olarak hesaplanmıştır.

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

$$PGA = 2,18e^{0,0218(33,3M_w - R_e + 7,8427S_A + 18,9282S_B)} \quad (14)$$

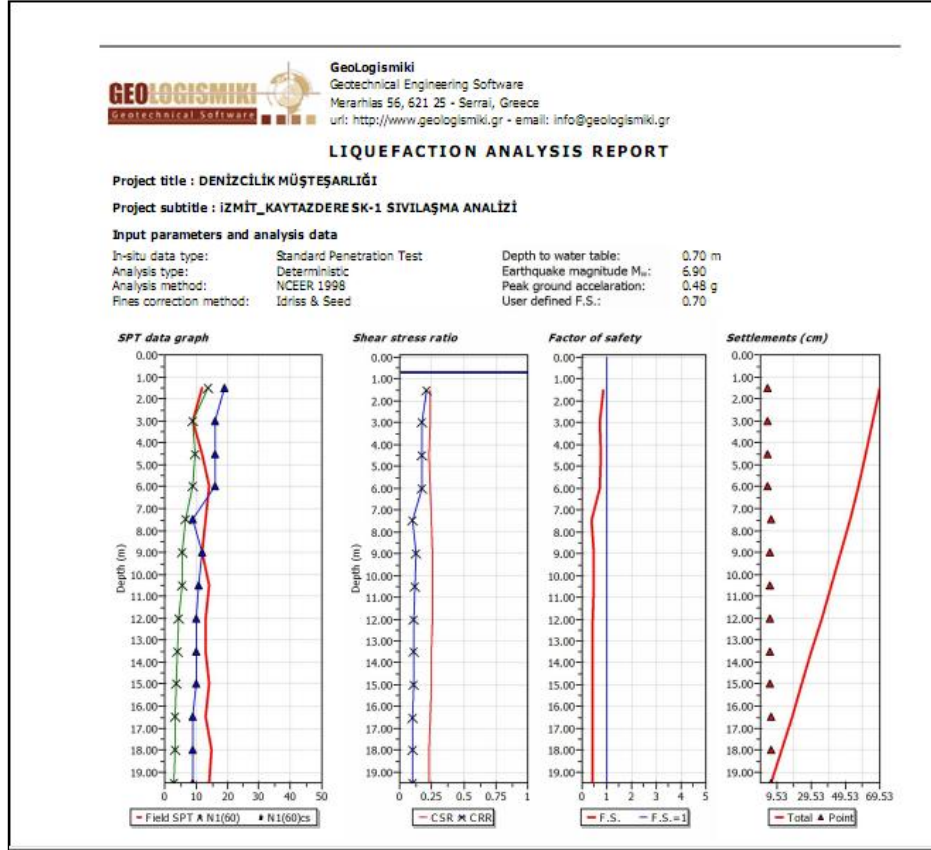
Burada; yumuşak zeminler için $S_A=0$, $S_B=1$ alınır, R_e yerleşim alanından ilgili fay zonuna en yakın dikey mesafedir; $R_e=30$ km, M_w Deprem büyüklüğüdür. Buna göre, tasarım depreminin meydana getirebileceği "Yatay deprem ivmesi" 0,48g olarak hesaplanmıştır.

3.2. Sıvılaşma Analizi (Liquefaction Analysis)

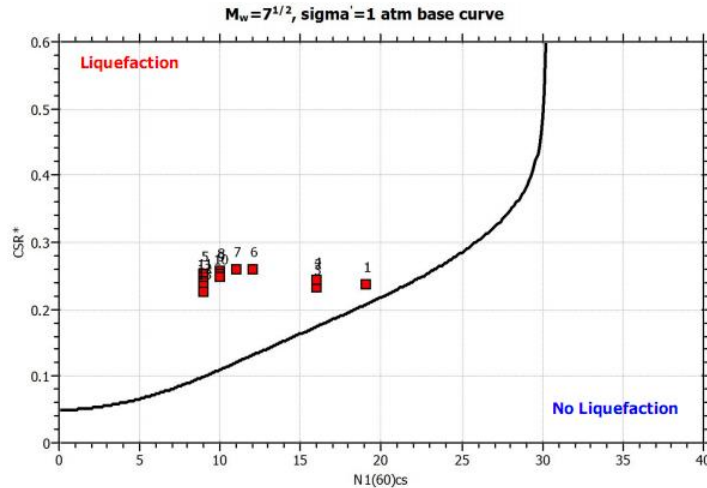
Çalışma alanında, Kuzey-Anadolu Fay Zonunun Çınarcık ile Arifiye arasında kalan segmentinin olası bir depremde 1/3'nün kırılacağı tahmin edilen senaryo depremine göre, moment magnitudü $M_w=6.9$ büyüklüğünde beklenen bir deprem için sıvılaşma potansiyeli Liq IT V. 4.7.3 [5] Geologismiki yazılımı kullanılarak araştırılmıştır.

Bu çalışmada SK-1 ve SK-2 kuyuları için Liq IT V.4.7.3 [2006] programı kullanılarak sıvılaşma analizleri ayrı ayrı yapılmıştır. Şekil (9a,b) ve Şekil (10a,b)'a katman bazında bakıldığında her iki kuyu içinde (SK-1 ve SK-2 kuyusunda) güvenlik kat sayısı (F_s) 1.5 m ila 19.5 metreler arasında $F_s < 1$ olması

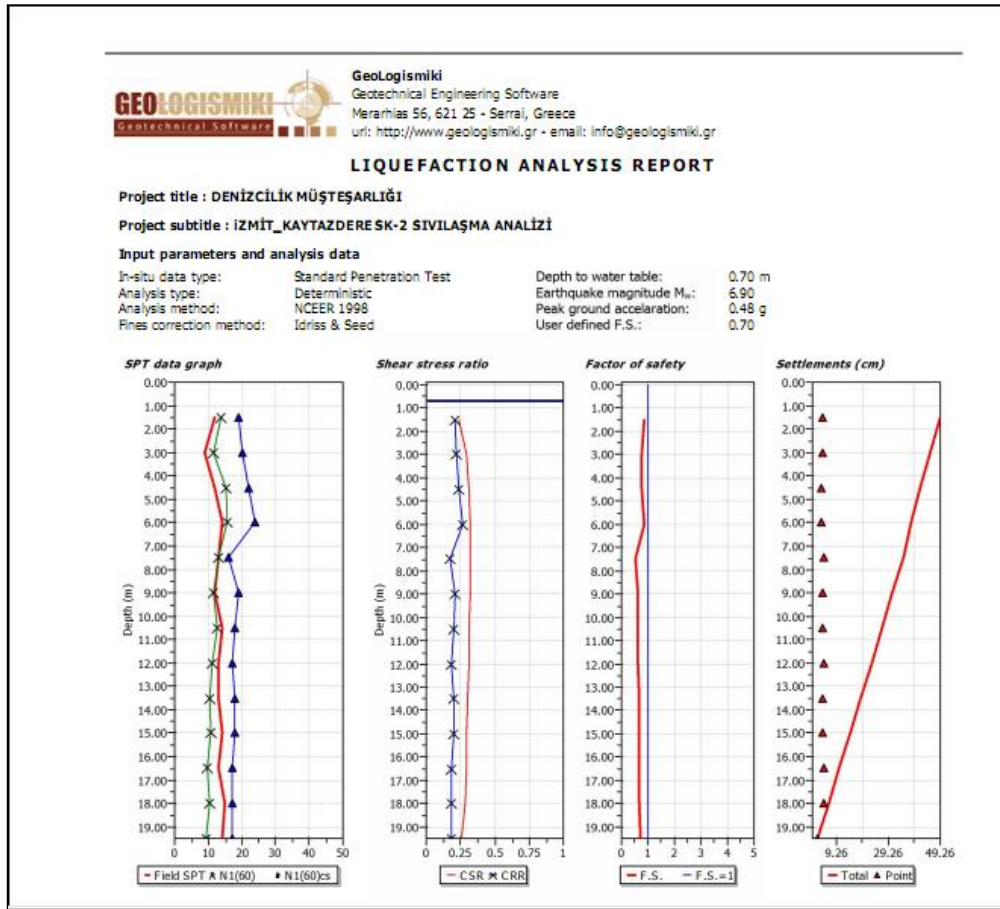
ve sıvılaşma şiddeti indeksinin de $I_L \geq 15$ olduğu anlaşıldığından sıvılaşma potansiyeli taşıdığı görülmektedir. Aynı şekilde ker iki kuyu içinde (SK-1,SK-2) oturma hesapları yapılmış ve SK-1 için 69.53 cm ve SK-2 için de 49.26 cm olarak bulunmuştur (Şekil 9a,b), (Şekil 10a,b).



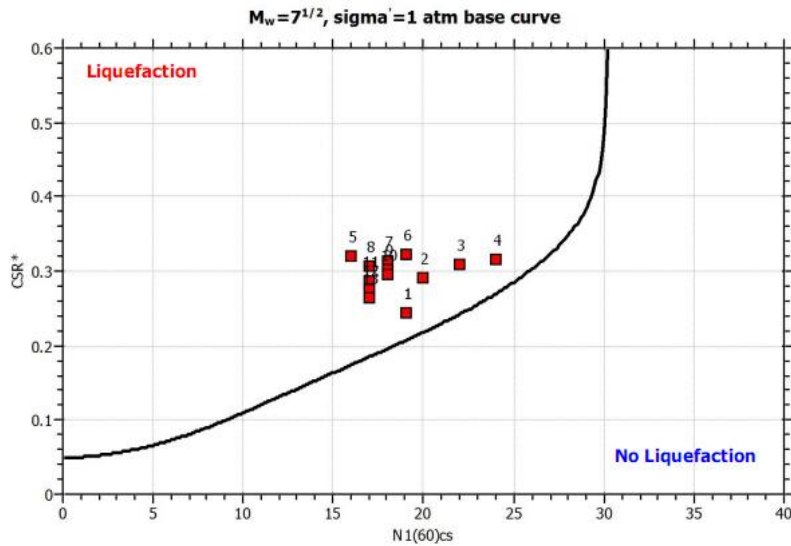
Şekil 9 (a). Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre SK-1 kuyusu analiz sonuçları



Şekil 9 (b). Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre SK-1 kuyusu sıvılaşma analizi nokta dağılımı (Bu şekil $M_w=7.5$ tabanına göre program tarafından otomatik düzeltilmiştir)



Şekil 10 (a). Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre SK-2 kuyusu analiz sonuçları



Şekil 10 (b). Seed ve Idriss (1971) yöntemine göre SK-2 kuyusu sivilaşma analizi nokta dağılımı (Bu şekil $M_w=7.5$ tabanına göre program tarafından otomatik düzeltilmiştir)

Sonuç olarak; deprem magnitüd büyüklüğü $M_w=6.9$ ve yatay deprem ivmesinin $0,48g$ şartlarında bir depreminin gerçekleşmesi durumunda, yukarıdaki şekillere bakıldığında (Şekil 9-Şekil 10) 1 ve 2 nolu lokasyonların yüksek düzeyde sıvılaşma riski taşıdığı görülmektedir.

4. SONUÇ VE ÖNERİLER (CONCLUSIONS AND SUGGESTIONS)

Bu çalışmada, İzmit ilinin Kaytazdere mevkiinde inşası planlanan Trafik Gözetleme İstasyonu (TGİ) zeminlerinin standart penetrasyon deneyi (SPT) ile sıvılaşma potansiyeli araştırılmıştır. Deprem kaynağı olarak Kuzey Anadolu Fay Zonunun Çınarcık ile Arifiye arasında kalan segmenti tespit edilmiş ve bu fay zonunun üretmesi beklenen tasarım parametreleri; “maksimum yatay deprem ivmesi $0,48g$ ve deprem moment magnitüdü 6.9 ”, olarak hesaplanmış olup bu parametrelere göre sıvılaşma analizi yapılmıştır. Analiz sonunda SK-1 ve SK-2 çevresinin yüksek dereceli sıvılaşma riski taşıdığı ortaya konulmuştur.

Mevcut yapının 60 m yüksekliğinde bir trafik gözetleme kulesi olduğu düşünülürse sıvılaşmaya bağlı SK-1 için 69.53 cm ve SK-2 için 49.26 cm oturmaların oluşacağı hesaplanmıştır. Bu oturmaların kuleye zarar verebilecek olması nedeniyle, tasarlanan kule öncesi temel zemininin iyileştirilmesi gereklidir. Temel tipi ve ebatlarına, iyileştirme yöntemi uygulanması sonucunda yapılacak hesaplardan sonra karar verilmelidir. Başka alternatifler olarak, derin sıkıştırma ve enjeksiyon yöntemlerini kullanarak da sıvılaşmaya karşı önlemler alınması tavsiye olunur.

5. KAYNAKLAR (REFERENCES)

- 1) Özyayın K, Zeminlerde sıvılaşma. Altıncı Ulusal Depem Mühendisliği Konferansı, İstanbul, 2007, 231-255.
- 2) Iwasaki T, K., Tokida K. Tatsuoka, Watanabe, S., Yasuda, S., and Sato, H., Microzonation for soil liquefaction potential using simplified methods, Proceedings of the 13th International Conf. On Microzonation, Seattle, USA vol. 3, 1319-1330, 1982.
- 3) Jeoloji Etütleri Dairesi Başkanlığı, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 2007.
- 4) Ateş A, Özdemir A. Denizcilik Müsteşarlığı İZMİR, İZMİR, MERSİN-İSKENDERUN bölgeleri Gemi Trafik Hizmetleri Merkezi (GTHM) ve Trafik Gözetleme İstasyonu (TGİ) Projelerinin Zemin Etütleri. Ankara, 2007.
- 5) İnternet: LiqIT 4.7.3 Geologismiki (2006), Sıvılaşma Analizi Yazılımı” www.geologismiki.gr (2006).
- 6) Seed H.B, Idriss I.M. Simplified procedure for evaluating soil liquefaction potential. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1971, 97(9), 1249-1273.
- 7) Youd T.L et al. Liquefaction resistance of soils: summary report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF workshops on evaluation of liquefaction resistance of Soils. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2001, Vol.127, No.10, pp.817-832.
- 8) Liao S.S.C. ad Whitman R.V. Overburden Correction Factors For SPT In Sand. Journal Of Geotechnical Engineering, ASCE, 1986, 112 (3): 373-377.
- 9) Seed H.B, Tokimatsu K, Harder L.F, and Chung R.M. The influence of SPT procedures in soil liquefaction resistance evaluations. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, 1985, Vol.111, No:12, pp.1425-1445.
- 10)Şaroğlu F, Emre, Ö, Kuşçu İ. Türkiye Diri Fay Haritası, MTA Genel Müdürlüğü, Ankara, 1992.
- 11)[Mark R. K. Application Of Linear Statistical Model Of Earthquake Magnitude Versus Fault Length In Estimating Maximum Expectable Earthquakes. Geology, 1977, 5: 464- 466.
- 12)Wells D.L. and K.J. Coppersmith, New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement. Bull, Seismol, Soc, America, 19984, 4, 974-1002.
- 13)Ulusay R, and Tuncay E, and Sonmez H, and Gokceoglu C. An attenuation relationship based on Turkish strong motion data and iso-acceleration map of Turkey. Engineering Geology. 2004, 74: 265–291.