

T.C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İSTANBUL İLİ SİLİVRİ İLÇESİ ZEMİNLERİNİN
SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Kemal BOZNAR

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NURİ

İstanbul – 2023

TEZ TANITIM FORMU

- Yazar Adı Soyadı** : Kemal BOZNAR
- Tezin Dili** : Türkçe
- Tezin Adı** : İstanbul İli Silivri İlçesi Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi
- Enstitü** : İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü
- Anabilim Dalı** : İnşaat Mühendisliği
- Tezin Türü** : Yüksek Lisans
- Tezin Tarihi** : 22/06/2023
- Sayfa Sayısı** : 89
- Tez Danışmanları** : Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NURİ
- Dizin Terimleri** : Silivri, Sıvılaşma, Sıvılaşma Potansiyeli, Standart Penetrasyon Deneyi
- Türkçe Özet** : Bu çalışmada, İstanbul İli Silivri İlçesine bağlı Selimpaşa, Çanta, Ortaköy, Gümüşyaka, Yeni Mahalle, Cumhuriyet, Piri Mehmet Paşa, Değirmenköy, Mimarsinan, Kavaklı mahallelerinde deney verisi elde edilebilen noktalarda sıvılaşma analizi yapılmıştır. Toplam 18 sondaj kuyusu verileri incelenmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak sıvılaşma analizi yapılmış ve belirtilen mahallelerin sıvılaşma potansiyeli hakkında bilgi edinilmiştir.
- Dağıtım Listesi** : 1. İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsüne
2. YÖK Ulusal Tez Merkezine

İmzası

Kemal BOZNAR

T.C.
İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ

İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

İSTANBUL İLİ SİLİVRİ İLÇESİ ZEMİNLERİNİN
SIVILAŞMA POTANSİYELİNİN BELİRLENMESİ

Yüksek Lisans Tezi

Kemal BOZNAR

Danışman

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NURİ

İstanbul – 2023

BEYAN

Bu tezin hazırlanmasında bilimsel ahlak kurallarına uyulduğunu, başkalarının eserlerinden yararlanılması durumunda bilimsel normlara uygun olarak atıfta bulunulduğunu, kullanılan verilerde herhangi tahrifat yapılmadığını, tezin herhangi bir kısmının bu üniversite veya başka bir üniversitedeki başka bir tez olarak sunulmadığını betan ederim.

Kemal BOZNAR

.../.../2023



İSTANBUL GELİŞİM ÜNİVERSİTESİ
LİSANSÜSTÜ EĞİTİM ENSTİTÜSÜ MÜDÜRLÜĞÜNE

Kemal Boznar'ın İstanbul İli Silivri İlçesi Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi adlı tez çalışması, jürimiz tarafından İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı, İnşaat Mühendisliği Bilim Dalında YÜKSEK LİSANS tezi olarak kabul edilmiştir.

İmza

Başkan

Dr. Öğr. Üyesi Ferruh MAHNAMFAR

İmza

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NURİ

(Danışman)

İmza

Üye

Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORİ

İmza

ONAY

Yukarıdaki imzaların, adı geçen öğretim üyelerine ait olduğunu onaylarım.

... / ... / 2023

İmzası

Prof. Dr. İzzet GÜMÜŞ

Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada, İstanbul İli Silivri İlçesine bağlı Selimpaşa, Çanta, Ortaköy, Gümüşyaka, Yeni Mahalle, Cumhuriyet, Piri Mehmet Paşa, Değirmenköy, Mimarsinan, Kavaklı mahallelerinde deney verisi elde edilebilen noktalarda sıvılaşma analizi yapılmıştır. Toplam 18 sondaj kuyusu verileri incelenmiştir. Sondaj loglarında Standart Penetrasyon Deneyi ve Vs30 değerleri, yer altı su seviyesi, zemin sınıfı ve tabaka kalınlığı verileri incelenmiştir. AFAD deprem tehlike haritası kullanılarak sondaj verilerinin bulunduğu koordinatlar kullanılarak PGA verileri elde edilmiştir. Elde edilen veriler kullanılarak sıvılaşma analizi yapılmış ve belirtilen mahallelerin sıvılaşma potansiyeli hakkında bilgi edinilmiştir.

Çalışma sonucunda elde edilen veriler sondaj verilerinin bulunduğu koordinatlar etrafında değerlendirilmiştir. Veri bulunmayan bölgeler ile ilgili olarak bir sıvılaşma potansiyeli belirtilmemiştir. Çalışma Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği Deprem Düzeyi-2 ye göre yapılmıştır. Yapılan analizler sonucunda elde edilen verilere göre kıyı şeridinde ve dere yataklarına yakın bölgelerde çok yüksek sıvılaşma potansiyeli tespit edilmiştir. Bu sebeple kıyı şeridi ve dere yataklarına yakın alanlarda inşa edilmesi planlanan yapılar için mutlaka zemin sıvılaşmasına karşı zemin iyileştirme yöntemlerinin kullanılmasının gerekli olduğu düşüncesine varılmıştır.

Anahtar Kelimeler: Silivri, Sıvılaşma, Sıvılaşma Potansiyeli, Standart Penetrasyon Deneyi

SUMMARY

The mechanical properties of the soils at the foundation of the buildings in areas with earthquake risk are of great importance in minimizing possible damages. In coastal areas such as Istanbul, the liquefaction of the soil during an earthquake causes earthquake damages to become more dangerous. In this study, liquefaction potential of the soil was analyzed based on the data obtained from experiments and measurements in Selimpaşa, Bag, Ortaköy, Gümüşyaka, Yeni Mahalle, Cumhuriyet, Piri Mehmet Paşa, Değirmenköy, Mimarsinan, Kavaklı neighborhoods of Silivri District of Istanbul Province. A total of 18 borehole data were examined. Standard Penetration Test and Vs30 values, groundwater level, soil class and layer thickness data from the borehole logs were examined. By using AFAD (Disaster and Emergency Management Presidency) earthquake hazard map, the peak ground acceleration value (PGA) data was obtained based on the coordinates of the borehole. By using the obtained data, the liquefaction risk was analyzed and the liquefaction potential of the specified neighborhoods was evaluated.

Analyses were made only for the vicinity of the borehole. No liquefaction potential was noted for the regions for which data were not available. The study was carried out according to the Turkish Building Earthquake Code Earthquake Level-2. According to the results of the analysis, very high liquefaction potential was detected in the coastal strip and in the regions close to the river beds. For this reason, it has been concluded that it is necessary to use soil improvement methods against soil liquefaction for the structures planned to be built in areas close to the coastline and river beds.

Keywords: Silivri, Liquefaction, Liquefaction Potential, Standard Penetration Test

TEŞEKKÜR

Tez çalışmam süresince beni yönlendiren, bilgi ve tecrübelerini esirgemeyen, desteğini her zaman hissettiğim değerli hocam Doç. Dr. Suleiman Ali Suleiman Mohamed KHATRUSH'a,

Tez konumu belirlememde ve tez çalışmamda fikir ve görüşleriyle beni yönlendiren ve desteğini esirgemeyen değerli hocam Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad NOORİ'ye,

Çalışmam boyunca yapmış olduğu büyük katkılarından dolayı değerli danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Mustafa NURİ'ye,

İstanbul İli Silivri İlçesinde zemin etüdü yapan, verilerini benimle paylaşan ve çalışmamda kullanmam için onay veren mühendislik firmalarına ve çalışanlarına,

Çalışmamda kullandığım zemin etüd raporlarının teminini sağlayan Silivri Belediye Başkanlığına,

Tezim konusunda her konuda destek veren değerli arkadaşım ve meslektaşım İnşaat Mühendisi Selin Ece Altun'a ,

Çalışmam boyunca her konuda yardımını esirgemeyen değerli arkadaşım ve meslektaşım İnşaat Mühendisi Hidayet Alptekin Ersöz'e ,

Çalışmam ile ilgili her konuda öneri ve görüşleriyle bana yardımcı olan hocalarıma, meslektaşlarıma ve arkadaşlarıma,

Eğitim hayatım boyunca maddi manevi desteklerinden dolayı her zaman yanımda olan aileme teşekkür ederim.

Kemal BOZNAR

İstanbul, Mayıs 2023

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
SUMMARY	ii
TEŞEKKÜR	iii
İÇİNDEKİLER	iv
KISALTMALAR	vii
TABLolar LİSTESİ.....	viii
HARİTALAR LİSTESİ.....	ix
GRAFİKLER LİSTESİ.....	x
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	xi
EKLER LİSTESİ.....	xiii
ÖNSÖZ.....	xiv
GİRİŞ	1

BİRİNCİ BÖLÜM LİTERATÜR BİLGİLERİ

1.1. Sıvılaşmanın Tanımı	2
1.2. Sıvılaşmanın Oluşum Mekanizması	2
1.3. Sıvılaşma Türleri.....	3
1.3.1. Akma Türü Sıvılaşma.....	3
1.3.2. Devirsel Hareketlilik	4
1.4. Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler	6
1.4.1. Zemin Tipi	6
1.4.2. Rölatif Sıklık (Dr)	6
1.4.3. Dane Boyu Dağılımı.....	6
1.4.4. Çevre Basınçları	7
1.4.5. Dane Şekli	7
1.4.6. Yaş ve Çimentolanma	7
1.4.7. Deprem Süresi ve Büyüklüğü.....	7
1.4.8. Yer altı Su Seviyesi	7
1.4.9. Aşırı Konsolidasyon Oranı	7
1.4.10. Yatay Toprak Basıncı Katsayısı	8
1.5. Sıvılaşma Sonucu Oluşan Hasarlar	9
1.5.1. Kum Kaynaması	9
1.5.2. Akma Göçmesi	9

1.5.3.	Yanal Yayılma.....	10
1.5.4.	İstinat Yapısı Yenilmesi	11
1.5.5.	Taşıma Gücü Kaybı.....	12
1.5.6.	Gömülü Yapı Yüzeylemesi	13
1.6.	Zemin Sıvılaşmasına Karşı Zemin İyileştirme	14
1.7.	Türkiye’de Yapılmış Benzer Çalışmalar	15

İKİNCİ BÖLÜM

MATERYAL VE METOT

2.1.	Silivri Bölgesinin Tanıtılması.....	17
2.2.	Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)	19
2.2.1.	Standart Penetrasyon Deneyinin Uygulanışı	19
2.2.2.	(N1)60 Değerinin Belirlenmesi	20
2.2.3.	Devirsel Gerilme Oranının Belirlenmesi (DGO) (CSR)	22
2.2.4.	Devirsel Direnç Oranının Belirlenmesi (DDO) (CRR).....	23
2.2.5.	Devirsel Direnç Oranının Kayma Dalgası Hızı İle Hesaplanması ...	24
2.2.6.	Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Katsayısının (Fs) Hesaplanması	24
2.2.7.	Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi (PL).....	25

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

3.1.	ANALİZ İÇİN TEMEL VERİLER	27
3.1.1.	Standart Penetrasyon Testi (SPT) İle Analiz	28
3.1.2.	Kayma Dalgası Hızı (Vs30) İle Analiz.....	34
3.2.	ANALİZ SONUÇLARININ DEĞERLENDİRİLMESİ.....	36

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

TARTIŞMA VE SONUÇ

4.1.	Genel Bilgiler.....	40
4.2.	Sonuçlar	41
4.3.	Öneriler	44

KAYNAKÇA	45
-----------------------	-----------

EKLER.....	49
-------------------	-----------

Ek 1. İnceleme Alanlarına Ait Sondaj Logları	49
1 Nolu Sondaj Logu.....	49
2 Nolu Sondaj Logu.....	50
3 Nolu Sondaj Logu.....	51
4 Nolu Sondaj Logu.....	52

5 Nolu Sondaj Logu.....	53
6 Nolu Sondaj Logu.....	54
7 Nolu Sondaj Logu.....	55
8 Nolu Sondaj Logu.....	56
9 Nolu Sondaj Logu.....	57
10 Nolu Sondaj Logu.....	58
11 Nolu Sondaj Logu.....	59
12 Nolu Sondaj Logu.....	60
13 Nolu Sondaj Logu.....	61
14 Nolu Sondaj Logu.....	62
15 Nolu Sondaj Logu.....	63
16 Nolu Sondaj Logu.....	64
17 Nolu Sondaj Logu.....	65
18 Nolu Sondaj Logu.....	66
Ek 2. Silivri Mahalle Haritası	67

KISALTMALAR

a_{max}	:	Pik yer ivmesi
AFAD	:	Afet ve Acil Durum Yönetimi Başkanlığı
C_E	:	Enerji düzeltme faktörü
C_B	:	Kuyu çapı düzeltme faktörü
C_S	:	Numune alıcı kılıf düzeltme faktörü
C_R	:	Tij uzunluğu düzeltme faktörü
CPT	:	Konik penetrasyon deneyi
D_r	:	Relatif sıklık
DGO	:	Devirsel gerilme oranı
DDO	:	Devirsel direnç oranı
F_S	:	Sıvılaşmaya karşı güvenlik faktörü
g	:	Yerçekimi ivmesi
MSF	:	Büyükölçölük ölçek faktörü
N_{60}	:	Düzeltilmiş vuruş sayısı
P_L	:	Sıvılaşma potansiyeli
PGA	:	En büyük yer ivmesi değeri
r_d	:	Derinlik azaltma faktörü
SPT	:	Standart penetrasyon deneyi
TBDY	:	Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği
TÜİK	:	Türkiye İstatistik Kurumu
Vs30	:	30m derinliğe kadar kayma dalga hızlarının ortalama değeri
σ_{v0}	:	Sıvılaşma analizinin yapıldığı belirli bir derinlikteki toplam düşey gerilme
σ'_{v0}	:	Zemin çökeline σ_{v0} 'nın hesaplandığı aynı derinlikteki düşey efektif gerilme

TABLULAR LİSTESİ

Tablo 1. Rölatif sıklık ile zeminlerin sınıflandırılması.....	5
Tablo 2. C_s Numune alıcı kılıf düzeltme faktörü.....	20
Tablo 3. C_B Kuyu çapı düzeltme faktörü değerleri (Robertson ve Fear,1996).....	20
Tablo 4. C_E Enerji düzeltme faktörü (Toğrol ve Sivrikaya,2009).....	20
Tablo 5. C_R Tij uzunluğu düzeltme faktörü.....	21
Tablo 6. MSF Büyüklük ölçek faktörleri.....	24
Tablo 7. Sıvılaşma potansiyeli indeksine (PL) göre sıvılaşma riski seviyeleri. (Iwasaki ve ark., 1982).....	25
Tablo 8. İnceleme Kuyularına Ait Koordinat ve Zemin Sınıfı Tablosu.....	26
Tablo 9. 0m - 4m Derinliğe Ait SPT (N30) Verileri Tablosu.....	27
Tablo 10. 4m - 10m Derinliğe Ait SPT (N30) Verileri Tablosu.....	28
Tablo 11. 0m - 4m Derinliğe Ait (N1)60 Değerleri Tablosu.....	29
Tablo 12. 4m - 10m Derinliğe Ait (N1)60 Değerleri Tablosu.....	30
Tablo 13. Birim Hacim Ağırlıkları Tablosu.....	30
Tablo 14. 0m – 4m Derinlikte Sıvılaşma Analizi Tablosu.....	31
Tablo 15. 4m – 10m Derinlikte Sıvılaşma Analizi Tablosu.....	32
Tablo 16. İnceleme Kuyularına Ait Vs30 Değerleri Tablosu.....	33
Tablo 17. Vs30 Değerleri İle Sıvılaşma Analizi Tablosu.....	34
Tablo 18. 0m – 4m Derinlikte Sıvılaşma Analizi Sonuçları.....	35
Tablo 19. 4m – 10m Derinlikte Sıvılaşma Analizi Sonuçları.....	36
Tablo 20. 10m Derinlikte Vs30 Değeri İle Sıvılaşma Analizi Sonuçları.....	37
Tablo 21. Sıvılaşma Potansiyeli Tablosu.....	40

HARİTALAR LİSTESİ

Harita 1. Silivri Jeoloji Haritası.....	16
Harita 2. Marmara Bölgesi diri fay haritası. (Emre ve diğ., 2018).....	17
Harita 3. Silivri Coğrafi Haritası.....	18
Harita 4. Sondaj Kuyuları Haritası.....	38
Harita 5. Sıvılaşma Potansiyeli Haritası.....	43



GRAFİKLER LİSTESİ

Grafik 1. Sıvılaşma Potansiyeli Grafiği.....	41
---	-----------



ŞEKİLLER LİSTESİ

- Şekil 1.** Zemin daneciklerinin arasındaki okların uzunluğu zemin daneleri arasındaki bağlantı kuvveti ile doğru orantılıdır. Su basıncı arttıkça bağlantı kuvveti azalmaktadır (Anonymous, 2006a).....2
- Şekil 2.** San Francisco’da Merced gölü kıyısı boyunca 1957 yılında meydana gelen bir akma kayması. (Kramer,1996)..... 2
- Şekil 3.** 1976 Guatemala depreminde oldukça düz bir zeminin Motagua Nehri’ne doğru yanal yayılması. (Kramer, 1996).....3
- Şekil 4.** 1964 Niigata depreminde Niigata (Japonya) yakınındaki kum kaymaları. (Kramer, 1996).4
- Şekil 5.** Zeminlerde sıvılaşabilir granülometri aralığı. (Akkaş, 2006).....5
- Şekil 6.** Aşırı konsolidasyon oranının sıvılaşma direncine etkisi. (Ishihara ve Takatsu, 1979).....7
- Şekil 7.** Yatay toprak basıncı katsayısının sıvılaşma direncine etkisi. (Seed ve Lysmer, 1976).7
- Şekil 8.** Zemin yüzeyinde kum konilerinin oluşum şekli. (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).8
- Şekil 9.** Sıvılaşmanın yol açtığı akma türü kayma. (Uyanık, 2002).....9
- Şekil 10.** Yanal yayılma oluşum mekanizması. (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).....9
- Şekil 11.** 2001 Nisqually, WA depreminde Pajaro Sunset Lake’de yanal yayılma. (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).9
- Şekil 12.** İstinat yapısında yenilme biçimi. (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).....10
- Şekil 13.** 1995 Kobe depreminde sıvılaşma sonucu oluşan istinat duvarı yenilmesi. (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).....10

Şekil 14. Sıvılaşma sonrası taşıma gücü kaybı oluşumu. (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).....	11
Şekil 15. 1999 Marmara depreminde Adapazarı ilinde zemin sıvılaşması sonrası yan yatan yapı.....	11
Şekil 16. 1964 Niigata depreminde zemin sıvılaşması sebebiyle yapıların zemine batması ve yan yatması. (Steinbrugge Collection, EERC, University of California, Berkeley).....	12
Şekil 17. Gömülü hafif yapılarda, zemin sıvılaşması sebebiyle meydana gelen yükselmeye bağlı hasarlar. (Sönmez, 2006).....	12
Şekil 18. 2004 Niigata Chuetsu depreminde zemin sıvılaşması sebebiyle meydana gelen muayene bacası yükselmesi.....	13
Şekil 19. SPT Deneyi, SPT şeması ve SPT kaşığı. (Uzuner, 2011).	18
Şekil 20. SPT Deneyinin yapılışı. (Coduto, 1994).....	19
Şekil 21. Siltler ve temiz kumlar için M=7.5 depremlerinde kullanılan CRR grafiği. (Seed vd., 1985).....	22

EKLER LİSTESİ

Ek 1. : İnceleme alanlarına ait sondaj logları

Ek 2. : Silivri mahalle haritası



ÖNSÖZ

İstanbul İli Silivri ilçesi merkezi ve çeşitli mahallelerindeki zeminlerin standart penetrasyon deneyi verileri ve AFAD parametreleri kullanılarak sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi konusundaki bu çalışma İstanbul Gelişim Üniversitesi Lisansüstü Eğitim Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans Tezi olarak yazılmıştır.

Yüksek lisans tez danışmanlığımı üstlenen, tezimin hazırlanması ve çalışmalarımın sürdürülmesi sırasında yardımlarını esirgemeyen Sayın Dr Öğr. Üyesi Mustafa Nuri'ye teşekkürlerimi sunarım.

Yüksek lisans tez çalışmam boyunca, fikirleriyle ve görüşleriyle yolumu aydınlatan Dr. Öğr. Üyesi Ahmad Reshad Noori'ye , Doç. Dr. Suleiman Ali Suleiman Mohamed Khatrush'a teşekkürlerimi sunarım.

Çalışmamda kullanılan verilerin elde edilmesini sağlayan Silivri ilçesinde zemin etüd hizmeti veren mühendislik firmalarına ve çalışanlarına teşekkürlerimi sunarım, bu çalışmamın uygulama alanında faydalı olmasını temenni ederim.

Kemal BOZNAR

İstanbul, 2023

GİRİŞ

Doğal afet, büyük oranda veya tamamen insanların kontrolü dışında gerçekleşen, mal ve can kaybına neden olabilen, büyük ölçekli bir olaydır. Depremler doğal afetler içerisinde insan yaşamını önemli ölçüde etkileyen ve yıkıcı olanıdır. Türkiye de deprem afetinin en şiddetli örneklerinden biri 17 Ağustos 1999'da meydana gelmiştir. Bu deprem sebebiyle büyük ölçekte can ve mal kaybı yaşanmıştır.

Yerleşime elverişli olmayan alanlardaki yapılaşmalar, doğa olaylarının doğal afetlere kolayca dönüşmesinde öncelikli unsurlardan biridir. Depremlerin neden olduğu yapı hasarları, zemin özellikleri ile önemli derecede etkilendiği bilinen bir gerçektir. Deprem karakteristikleri, zemin koşulları ile değişkenlik göstermektedir. Aynı zamanda deprem zemin özelliklerini olumsuz olarak etkilemektedir.

Depremler sebebiyle meydana gelen zemin sıvılaşması, oturması, şev ve yamaçların stabilitelerinin bozulması, yanal yayılmalar ve yapılarda büyük hasarlara neden olmaktadır. Bu sebeple yerleşim alanı olarak planlanan alanlar için deprem riskleri ve zemin koşulları itina ile gözden geçirilmelidir.

Zemin sıvılaşması depremler sırasında meydana gelen yapı hasarlarının en önemli unsurlarından biridir. Sıvılaşma, ilk kez 1925 yılında Terzaghi tarafından ortaya atılmıştır. Geoteknik alanında sıvılaşma ile ilgili çalışmalar 1964 yılında meydana gelen Niigata (Japonya) ve Alaska depremleri sonrasında başlamıştır.

Sıvılaşma durumunda zeminin yapısı bozulabilir ve ortaya çıkan deformasyonlar, yapıları büyük hasarlara uğratabilecek kadar yüksek olabilir (Aksu ve Toz, 2002). Zemin sıvılaşması, yer altı su seviyesinin zemin yüzeyine yakın olduğu bölgelerde suya doymun kohezyonsuz zeminlerde, boşluk suyu drenajının mümkün olmadığı ani yükselme durumlarında boşluk suyu basınçlarındaki ani artışa bağlı olarak efektif gerilmelerin azalması neticesinde meydana gelmektedir (Derinöz, 2004). Zemin sıvılaşmasının insan hayatına ve ekonomiye olumsuz etkileri nedeniyle bu konuda yapılan çalışmalar günden güne önemli derecede artmaktadır.

İncelenen bölgede inşa edilmesi planlanan yapıların tasarım aşamasında bölgede sıvılaşma potansiyeli hakkında bilgi edinilmesi amaçlanmaktadır.

BİRİNCİ BÖLÜM

LİTERATÜR BİLGİLERİ

1.1. Sıvılaşmanın Tanımı

İlk defa 1925 yılında ortaya atılan sıvılaşma, Terzaghi (1925)'e göre “sıvılaşma, suya doymuş zeminin çökmesi sırasında zemini oluşturan katı parçacıkların ağırlığının zemini çevreleyen suya aktarılması durumunda meydana gelebilir. Bu olay sonucunda zeminin herhangi bir derinliğinde hidrostatik su basıncı yükselerek büyüklüğü suya batan zeminin birim ağırlığına yaklaşır” (Castro, 1969).

Mogami ve Kuba (1953)'e göre sıvılaşma, dinamik yükler altında gevşek daneli zeminlerin dayanıklılıklarını yitirerek sıvıya benzer şekilde davranmaları şeklinde tanımlanmıştır.

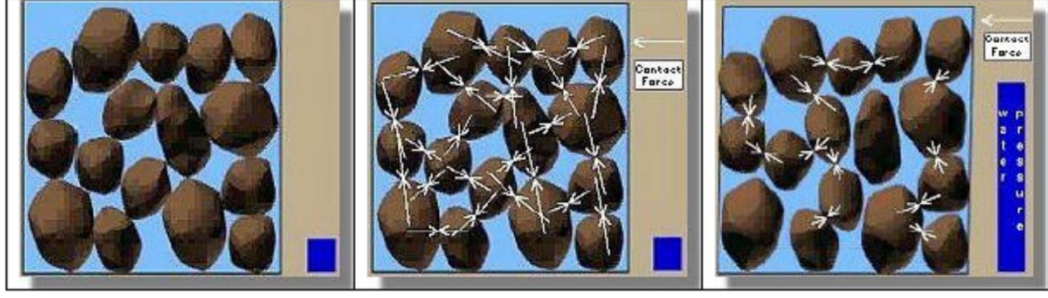
Youd (1992) sıvılaşmayı suya doymuş ince taneli kumlu ve siltli zeminlerin, deprem titreşimleri esnasında boşluk suyu basıncının artması ile efektif gerilmenin sıfır olması neticesinde, zeminin bir sıvı haline dönüşmesi olarak ifade etmektedir. Sıvılaşma durumunda, zeminin yapısı küçük bir dirençle bozulabilmekte hatta meydana gelen deformasyonlar, tüm yapıları hasara uğratabilecek kadar büyük olabilmektedir (Aksu ve Toz, 2002).

Sıvılaşma, ciddi yapı hasarlarına sebebiyet verdiğinden, zeminlerin sıvılaşma potansiyellerinin bilinmesi son derece önemlidir.

1.2. Sıvılaşmanın Oluşum Mekanizması

Zeminin makaslama dayanımının etkiyen statik makaslama gerilmesinden daha düşük bir değere doğru azalması durumunda, zeminde büyük deformasyonlar gelişmekte ve zemin sıvılaşmaktadır (Seed ve İdris 1982). Zeminde sıvılaşmaya neden olan hareketler, sismik dalgalar ve özellikle de makaslama dalgalarıdır (Youd, 1992).

Zeminin sıvılaşması esnasında yapılarda, zemine batma veya hafif yapılarda yüzme eğilimi görülebilir. Sıvılaşan zemindeki küçük kayma gerilmeleri altında büyük şekil değiştirmelere neden olur ve yapılarda göçme hasarları meydana getirir. Zeminlerin sıvılaşması temel olarak gevşek bir yerleşimde olmasına, daneler arasındaki bağ ve kil miktarına ve boşluk suyunun drenajının engellenmesine bağlıdır.(Şekil 1), (Özçep ve Ark., 2004).



Şekil 1. Zemin daneciklerinin arasındaki okların uzunluğu zemin daneleri arasındaki bağlantı kuvveti ile doğru orantılıdır. Su basıncı arttıkça bağlantı kuvveti azalmaktadır. **Kaynak:** (Anonymous, 2006a).

1.3. Sıvılaşma Türleri

1.3.1. Akma Türü Sıvılaşma

Akma sıvılaşması, bir zemin kütesinin statik dengesi için gerekli kayma gerilmesinin, zeminin sıvılaşmış haldeki kayma mukavemetinden büyük olduğu durumda gerçekleşir. Tetiklenmeden sonra akma sıvılaşmasıyla oluşan büyük deformasyonların temel sebebi statik kayma gerilmeleridir. Statik gerilmelerin akma yenilmesi oluşturabilecek kadar zemin mukavemetini azalttığı durumda, devrinsel gerilmeler zemini oldukça kolay bir şekilde dengesiz vaziyete getirebilmektedir. Akma sıvılaşmaları, köken itibarıyla ansızın meydana gelmeleri, çabuk gelişmeleri ve sıvılaşan malzemenin genellikle büyük mesafelerde hareketi ile karakteristiktir. (Şekil 2)(Kramer, 1996).



Şekil 2. San Francisco'da Merced gölü kıyısı boyunca 1957 yılında meydana gelen bir akma kayması. **Kaynak :** (Kramer,1996).

1.3.2. Devirsel Hareketlilik

Devirsel hareketlilik, deprem sarsıntısı esnasında kabul edilemeyecek miktarda büyük ve kalıcı deformasyonlara neden olan bir diğer olaydır. Devirsel hareketlilik, akma sıvılaşmasının tersine, statik kayma gerilmesinin, sıvılaşmış zeminin kayma mukavemetinden küçük olduğu zaman gelişmektedir. Devirsel hareketlilik türü yenilmenin sebep olduğu deformasyonlar deprem sarsıntısı sırasında kademeli olarak meydana gelir. Akma sıvılaşmasının tersine, devirsel hareketlilik ile oluşan deformasyonlara sebep olan etmen, hem devirsel gerilmeler hem de statik kayma gerilmeleridir. Yanal yayılma olarak tanımlanan bu deformasyonlar çok az eğimli yamaçlarda veya su kütlelerine komşu düzlüklerde meydana gelmektedir (Şekil 3)(Kramer, 1996).



Şekil 3. 1976 Guatemala depreminde oldukça düz bir zeminin Motagua Nehri'ne doğru yanal yayılması. **Kaynak:** (Kramer, 1996).

Devirsel hareketliliğin hususi bir durumu düz yüzey sıvılaşmasıdır. Yatay deformasyonları meydana getirebilecek statik yatay kayma gerilmeleri mevcut olmadığından, düz yüzey sıvılaşması bir deprem anında zemin dalgalanması olarak bilinen büyük ölçekli ve düzensiz karakterli hareketi oluşturmakta fakat çok küçük bir kalıcı yatay deformasyona sebep olmaktadır. Düz yüzey sıvılaşması türü

yenilmelere neden olan etmen, depremin sebep olduğu aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi esnasında suyun yukarı doğru hareketidir. Hidrolik dengeye ulaşmak için gerekli zamanın uzunluğuna bağlı olarak, düz yüzey sıvılaşması, deprem sona erdikten uzun bir süre sonra da gerçekleşebilir. Aşırı düşey oturma ve bunun neticesinde düşük kotlu zeminin akması ve kum kaynamalarının oluşması, düz yüzey sıvılaşması türü yenilmelerin özellikleridir.(Şekil 4)(Kramer, 1996).



Şekil 4. 1964 Niigata depreminde Niigata (Japonya) yakınındaki kum kaynamaları.
Kaynak: (Kramer, 1996).

1.4. Sıvılaşmaya Etki Eden Faktörler

1.4.1. Zemin Tipi

Zemin sıvılaşmasına en duyarlı zemin türü ince ve orta kum ile düşük plastisiteli ince taneler içeren kumlu zeminlerdir, zaman zaman çakıllı zeminlerde de görülebilmektedir. (Ishihara, 1985).

1.4.2. Rölatif Sıklık (Dr)

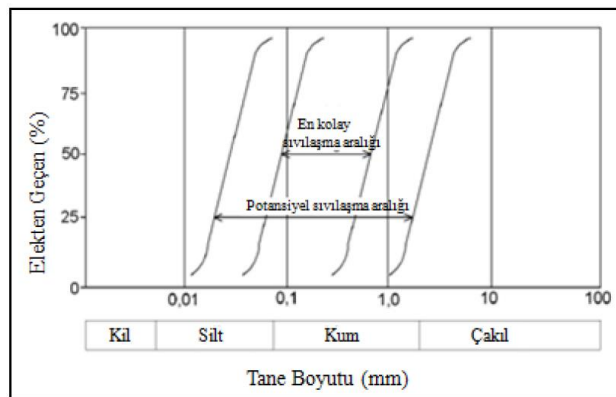
Seed ve Idriss (1971)'e göre rölatif sıklık-zemin ilişkisi tablo 1'deki gibidir. Rölatif sıklık değeri %65'in üzerinde olan zeminlerde sıvılaşma oluşmayacağı ifade edilebilir (Tablo 1). 1694 Niigata depreminde rölatif sıklığı %50 olan kumlu zeminlerde sıvılaşma meydana gelmiş, rölatif sıklığı %70 olan zeminlerde ise sıvılaşma meydana gelmemiştir (Mollamahmutoglu ve Babuççu, 2006).

Tablo1. Rölatif sıklık ile zeminlerin sınıflandırılması

Rölatif Sıklık (Dr) %	Zemin
0-15	Cok Gevsek
15-35	Gevsek
35-65	Orta Sıkı
65-85	Sıkı
85-100	Cok Sıkı

1.4.3. Dane Boyu Dağılımı

İyi derecelenmiş zeminlerin hacimsel deformasyon eğilimi az olduğundan drenajsız koşullarda ortaya çıkabilecek boşluk suyu basıncı miktarı da azdır. Bu sebeple sıvılaşma ihtimali de düşüktür (Şekil 5)(Esra, 2013).



Şekil 5. Zeminlerde sıvılaşabilir granülometri aralığı. **Kaynak:** (Akkaş, 2006).

1.4.4. Çevre Basınçları

Arazi araştırmaları, sıvılaşma bölgesinin ekseriyetle zemin yüzeyinden ortalama 15 m'lik bir derinliğe indiğini ifade etmektedir. 15 m'den daha derinde bulunan zeminlerin, yüksek çevre basınçlarından dolayı sıvılaşma potansiyelinin olmadığı düşünölmektedir. Bu durum 15 m'den daha derindeki zeminler için sıvılaşma analizi yapılmayacağını göstermez. Bir sıvılaşma analizinin sonlandırılacağı derinlik konusunda mühendislik tecrübesi gereklidir (Mollamahmutöğlu ve Babuçu, 2006).

1.4.5. Dane şekli

Yuvarlak daneli zeminlerde sıvılaşma meydana gelme olasılığı, köşeli daneli zeminlere göre daha yüksektir (Esra, 2013).

1.4.6. Yaş ve Çimentolanma

Eski zemin çökellerinin sıvılaşma duyarlılığı, yeni çökelmiş zeminlere göre daha düşöktür (Mollamahmutöğlu ve Babuçu, 2006).

1.4.7. Deprem Süresi ve Büyöklüğü

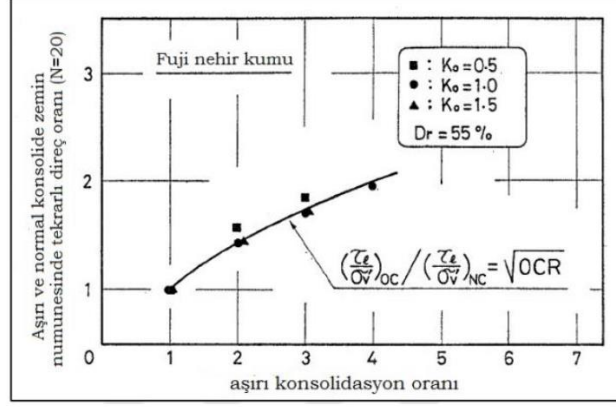
Deprem, zemin sıvılaşmasına sebep olan en önemli faktördür. Deprem şiddetinin yüksek olması maksimum ivmenin büyük olmasına neden olmaktadır. Deprem süresinin uzaması tekrarlı gerilmelerin zemine uygulanma süresini arttırır. Bu durumlar sıvılaşma tehlikesini önemli ölçüde arttırır (Dere, 2009).

1.4.8. Yer altı Su Seviyesi

Wang ve Law (1994)'ın çalışması neticesinde, Yeraltı su seviyesinin 5 m'den fazla olduğu zeminlerde sıvılaşma gözlenmemiştir. Zemin sıvılaşmasının gözlendiği çoğu zeminde yeraltı su seviyesi 3 m'den daha düşük seviyededir ve bazı bölgelerde 3-5 m arasında değişkenlik göstermiştir (Esra, 2013).

1.4.9. Aşırı Konsolidasyon Oranı

Nehir kumu ile yapılan (Ishihara ve Takatsu 1979), üç eksenli burulmalı kesme deneyinde, aşırı konsolidasyon oranının artmasıyla sıvılaşma direncinin de doğrusal olmayan bir şekilde arttığı görölmüştür (şekil 6)(Esra, 2013).

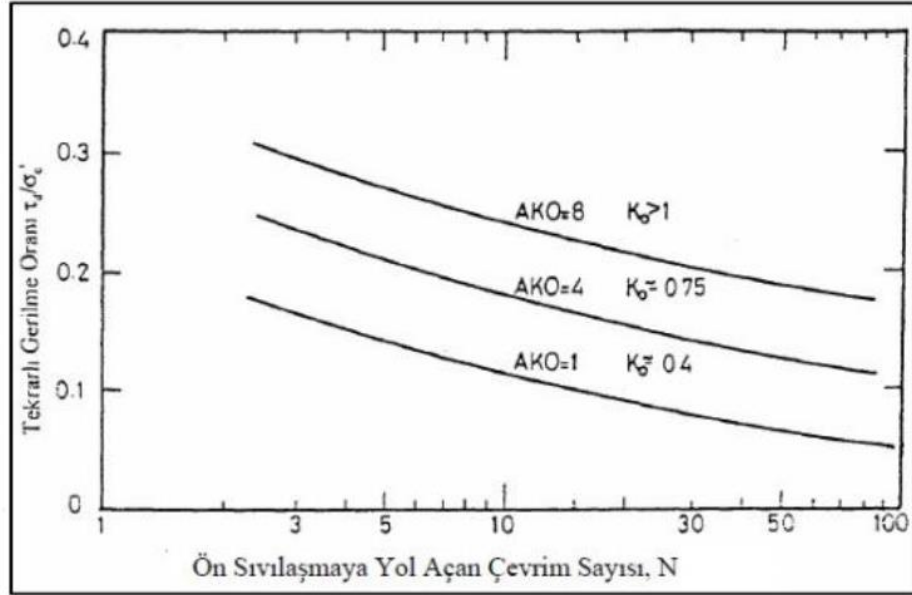


Şekil 6. Aşırı konsolidasyon oranının sıvılaşma direncine etkisi.

Kaynak: (Ishihara ve Takatsu, 1979).

1.4.10. Yatay Toprak Basıncı Katsayısı

Yatay toprak basıncı katsayısının fazlalaşmasıyla sıvılaşmaya neden olacak gerilme oranında da artış gözlenmektedir (Çavuş, 2004).(Şekil 7.)



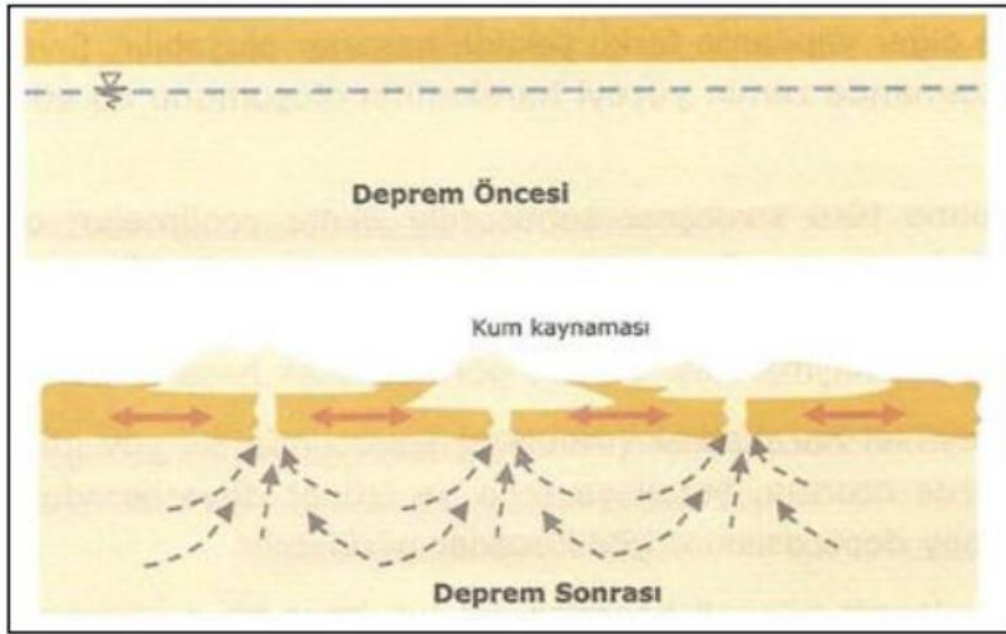
Şekil 7. Yatay toprak basıncı katsayısının sıvılaşma direncine etkisi.

Kaynak: (Seed ve Lysmer, 1976).

1.5. Sıvılaşıma Sonucu Oluşan Hasarlar

1.5.1. Kum Kaynaması

Depremi oluşturduğu kayma gerilmeleri sonucunda zeminin boşluk suyu basıncı yükselir ve efektif gerilme değeri sıfıra hatta negatif değere kadar azalabilir. Bu durumda su zemin yüzeyine doğru hareket ederken zemin tanelerini de yüzeye sürükler (Şekil 8). Yüzeğe doğru sürüklenen bu su-zemin karışımının enerjisi yeterli olduğu takdirde yüzeyde kum kaynamaları meydana gelir (Sinan, 2021).(Şekil 8.)

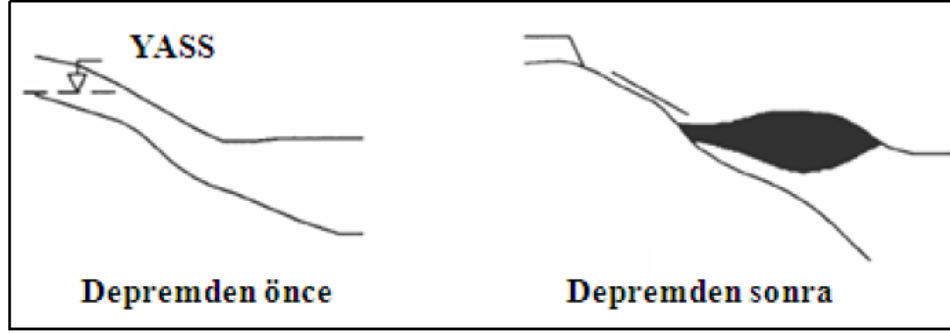


Şekil 8. Zemin yüzeyinde kum konilerinin oluşum şekli.

Kaynak: (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

1.5.2. Akma Göçmesi

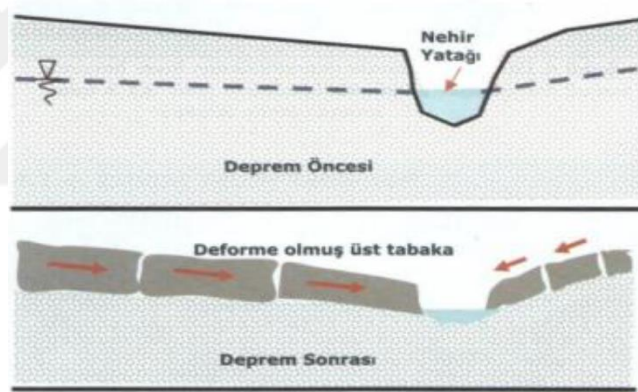
Zemin sıvılaşmasının sebep olduğu akma göçmesi problemi genellikle 3 dereceden daha yüksek eğimli arazilerde gerçekleşir (Youd 1984). Zeminde yenilme meydana geldiği anda aniden gerçekleşir ve hızlı hareket eder. Akma göçmesi meydana geldikten sonra, zemin kayma gerilmeleriyle hareket ederek büyük yıkımların oluşmasına sebep olmaktadır(Sinan, 2021).(Şekil 9.)



Şekil 9. Sıvılaşmanın yol açtığı akma türü kayma. **Kaynak:** (Uyanık, 2002).

1.5.3. Yanal Yayılma

Genellikle arazi eğiminin 3 dereceden az olduğu yamaçlarda veya su birikintilerine yakın düzlüklerde serbest yüzeylere doğru gerçekleşen hareketler neticesinde zeminde yükselmeler, kırıklar, küçük çöküntüler ve çatlaklar oluşur.(Şekil 10., Şekil 11.)



Şekil 10. Yanal yayılma oluşum mekanizması. **Kaynak:** (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

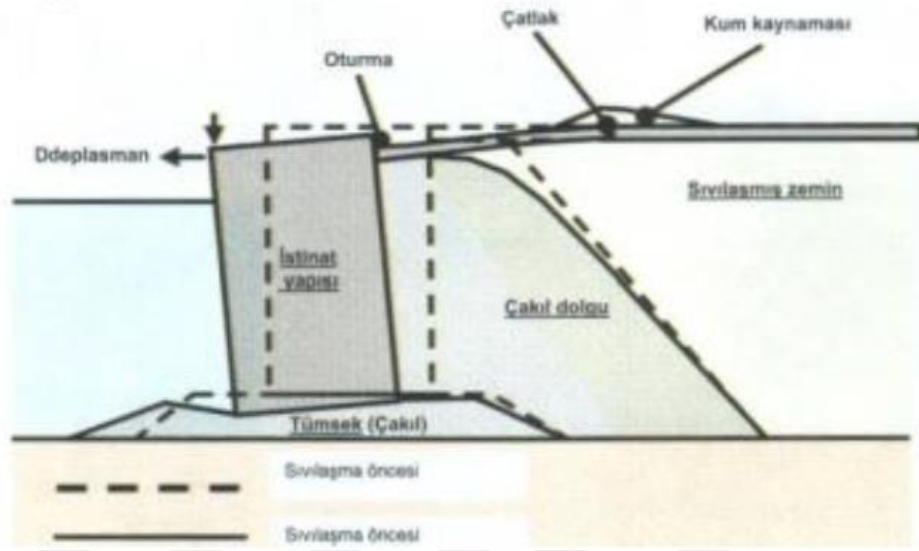


Şekil 11. 2001 Nisqually, WA depreminde Pajaro Sunset Lake'de yanar yayılma.

Kaynak: (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

1.5.4. İstinat Yapısı Yenilmesi

Zemin sıvılaşmasına maruz kalan temel zemininin destek kaybından veya istinat yapısı arkasındaki sıvılaşmaya uğramış zeminde oluşan ilave kuvvetlerden dolayı gerçekleşir. Bu kuvvetler neticesinde istinat yapısında deplasmanlar oluşmaktadır.(Şekil 12., Şekil 13.)



Şekil 12. İstinat yapısında yenilme biçimi. **Kaynak:** (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

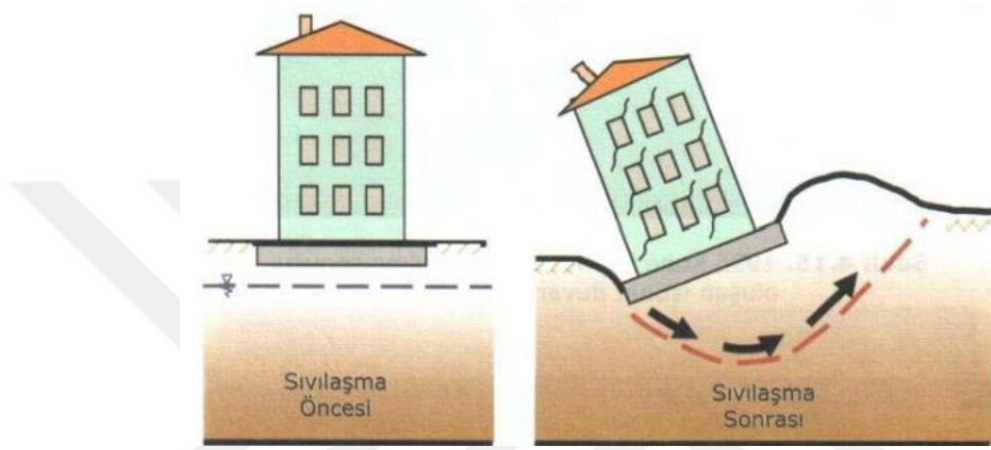


Şekil 13. 1995 Kobe depreminde sıvılaşma sonucu oluşan istinat duvarı yenilmesi.

Kaynak: (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).

1.5.5. Taşıma Gücü Kaybı

Zeminlerin sıvılaşması sonucunda, tekrarlı kayma gerilmeleri aşırı boşluk suyu basıncında artış meydana getirir. Bu artış sebebiyle zeminin taşıma gücü azalmaya başlar. Taşıma gücünde azalma gerçekleşen zemin üzerinde bulunan yapılarda zemine batma, devrilme ya da yan yatma gibi hasarlar gerçekleşmektedir. (Şekil 14., Şekil 15., Şekil 16.)



Şekil 14.Sıvılaşma sonrası taşıma gücü kaybı oluşumu.**Kaynak:** (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu, 2006).



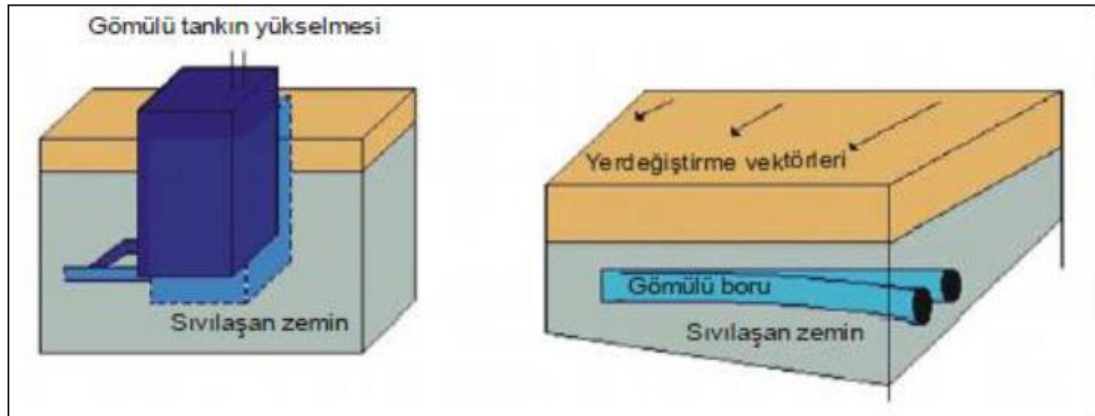
Şekil 15.1999 Marmara depreminde Adapazarı zemin sıvılaşması sonrası yan yatan yapı.



Şekil 16. 1964 Niigata depreminde zemin sıvılaşması sebebiyle yapıların zemine batması ve yan yatması. **Kaynak:** (Steinbrugge Collection, EERC, University of California, Berkeley).

1.5.6. Gömülü Yapı Yüzeylemesi

Sıvılaşma sonucu, kaldırma kuvvetinin etkisiyle, boru hatları, muayene bacaları, gömülü tank gibi hafif yapıların hareket etmesi ve hasar alması gözlemlenebilir. (Şekil 17., Şekil 18.)



Şekil 17.Gömülü hafif yapılarda, zemin sıvılaşması nedeniyle meydana gelen yükselmeye bağlı hasarlar. **Kaynak:** (Sönmez, 2006).



Şekil 18. 2004 Niğita Chuetsu depreminde zemin sıvılaşması sebebiyle meydana gelen muayene bacası yükselmesi.

1.6. Zemin Sıvılaşmasına Karşı Zemin İyileştirme

Selçukhan ve Ekinci (2021), Çalışmalarında zemin sıvılaşmasına karşı dinamik kompaksiyon, kum kompaksiyonu ve derin karıştırma yöntemleri hakkında bilgiler sunmuştur, Dinamik kompaksiyon, ağır bir cismin belirli bir yükseklikten aşağı bırakılarak zeminin sıkılaştırılması işlemidir. Dinamik kompaksiyon yumuşak ve gevşek zemin türleri için uygundur. Amaç zeminin taşıma kapasitesinin artırılması ve sıvılaşma potansiyelinin düşürülmesidir.

Kum kompaksiyon kazıkları, gevşek kum zeminin yoğunluğunu arttırmak amacıyla çakılan kazıklardır. İnce kum zeminin sıvılaşma potansiyelini azaltmada kullanılır.

Derin karıştırma (Deep Mix), karıştırma tekniği ile kireç, asfalt, çimento katkı maddeleri kullanılarak zeminin sıvılaşma potansiyelini azaltmak ve taşıma gücünü arttırmakta kullanılan bir yöntemdir. (Onur Selçukhan ve Abdullah Ekinci'nin 2021 yılında yayınladıkları "Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Yaygın Kullanımına Bağlı Değerlendirilmesi" isimli makale.)

Akbaş ve diğ. (2023), zemin sıvılaşmasına karşı üst dolgu tabakası ile ilgili inceleme yapmıştır. Üst dolgu tabakası, deprensellik, zemin koşulları ve planlanan yapı özellikleri ile zemine aktarılacak yükler göz önünde bulundurularak yüzeyde uygun kalınlıkta bir dolgu tabakasının teşkili zemin sıvılaşmasından kaynaklanabilecek oturmaları önlemede yararlı bir yöntem olarak değerlendirilmektedir.(Merve Akbaş, Ozan Subaşı, Zeynep Kaygusuz ve Recep İyisan'ın 2023 yılında yayınladıkları “Sıvılaşma Kaynaklı Oturmaların Azaltılmasında Üst Dolgu Tabakasının Etkisi: Bir Vaka Analizi” isimli makale.)

şahin, Toygar ve Kahyaoğlu (2022), yaptıkları çalışmada şıvılaşma potansiyeli olan bir zeminin sıvılaşma tehlikesini bertaraf etmek amacıyla jet grout kolon imalatı önerilmiştir. Jet grout kolonlarının zemin sıvılaşmasını bertaraf etme etkinliğini, aralarındaki mesafeleri ve rijitliklerini değiştirerek incelemişlerdir. Çalışma sonucunda jet grout kolonlarının arasındaki mesafe azaldıkça sıvılaşmanın neden olacağı deformasyonlarında azaldığı, fakat boşluk suyu basıncını çok etkilemediği dolayısıyla sıvılaşmayı önlemekten daha çok kayma gerilmelerini azalttığını belirtmiştir. (Gizem şahin, Onur Toygar ve Mehmet Rifat Kahyaoğlu'nun 2022 yılında yayınladıkları “Sıvılaşma Riskinin Azaltılması için Kullanılan Jet Grout Kolonlarının Verimliliği Üzerine Bir Sayısal alışma” isimli makale.)

1.7. Türkiye’de Yapılmış Benzer alışmalar

Sinan KABAK (2021), “Kütahya İl Merkezinde Belirli Bir Bölge Zemininin Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi” Konulu yüksek lisans tezini Afyon Kocatepe Üniversitesi’nde yapmıştır. alışmasında Kütahya ili Merkez ilçesine bağlı Gayiefendi, Meydan ve Lala Hüseyin Paşa Mahallelerinde sıvılaşma potansiyellerini belirleyerek risk analizi haritaları oluşturmuştur.

Ali KOCABAş (2020), “ Denizli İli Yerleşim Alanı Zemin Malzemesinin Sıvılaşma Özelliklerinin İncelenmesi” Konulu yüksek lisans tezini Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi’nde yapmıştır. alışmasında Denizli İli yerleşim alanı içerisinde seçilmiş lokasyonlar için sıvılaşma analizleri gerçekleştirmiştir.

Burcu AZAKLAR ÇUHA (2018), “İstanbul İli Riva Bölgesi Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyeli Ve Zeminlerin Bulanık Mantık Metodu İle İncelenmesi” Konulu yüksek lisans tezini İstanbul Teknik Üniversitesi’nde yapmıştır.

Çalışmasında sıvılaşma tanımı ve literatür bilgilerinden bahsetmiş ve İstanbul ili Riva bölgesi zeminlerine ait sıvılaşma potansiyelini incelemiştir.

Pınar İSKENDERKAPTANOĞLU TÜRKOĞLU (2017), “Çanakkale İli Barbaros Mahallesi Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi” Konulu yüksek lisans tezini Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi’nde yapmıştır. Çalışmasında Çanakkale ili merkez yerleşim bölgesindeki, Barbaros Mahallesine ait zeminlerde sıvılaşma analizleri yaparak sıvılaşma potansiyellerini belirlemiştir.

Esra SUBAŞI DUMAN (2013), “Erzincan İl Merkezi ve Çevresindeki Zeminlerin Standart Penetrasyon Deneyi Verileri Kullanılarak Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi” Konulu yüksek lisans tezini Karadeniz Teknik Üniversitesi’nde yapmıştır. Çalışmasında farklı deprem senaryoları üreterek Erzincan il merkezi zeminlerinin sıvılaşma potansiyelini incelemiştir.

Gülnur KOÇ (2007), “Gölcük Ve Çevresinin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi” Konulu yüksek lisans tezini Kocaeli Üniversitesi’nde yapmıştır. Çalışmasında Gölcük ve çevresinin sıvılaşma potansiyelini değerlendirmiştir. Gölcük ve çevresi için sıvılaşma analizleri yapmıştır.

Sevda KARANLIK (2006), “Hatay Altinkoy Çevresinin Zemin Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesi” Konulu yüksek lisans tezini Çukurova Üniversitesi’nde yapmıştır. Çalışmasında Hatay Samandağ Altinkoy ve çevresinin zemin sıvılaşma potansiyelini belirlemek amacıyla SPT sonuçlarını kullanarak sıvılaşma analizleri yapmıştır.

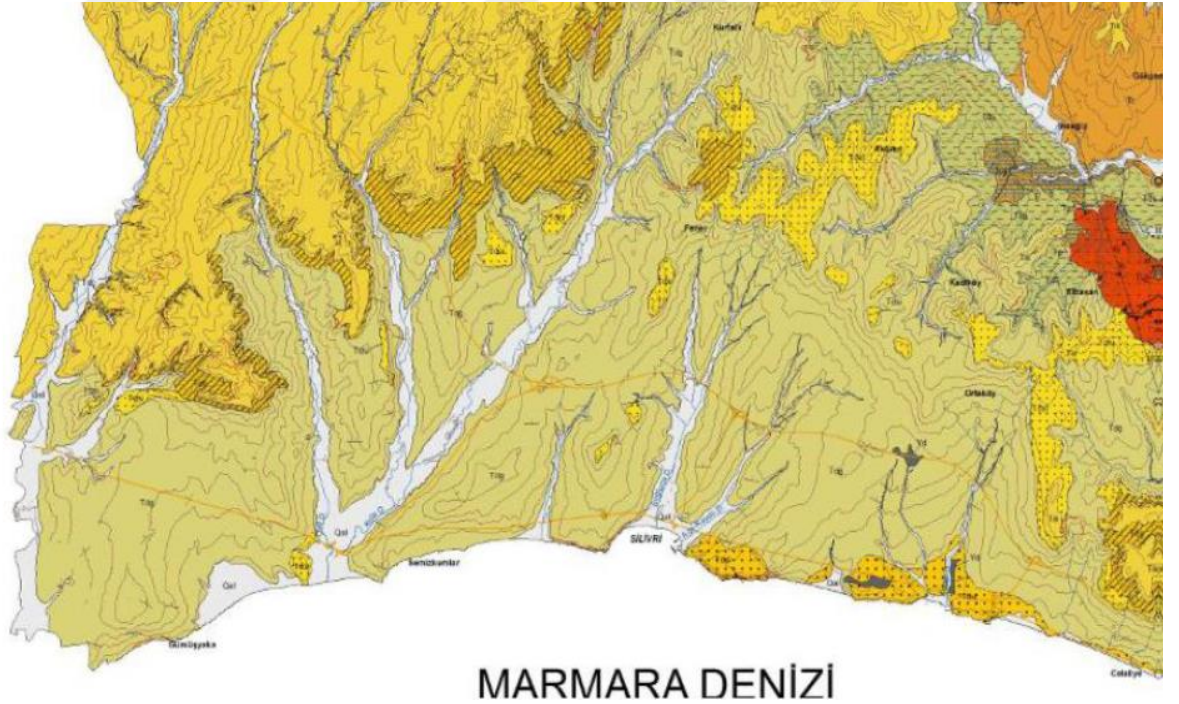
İKİNCİ BÖLÜM

MATERYAL VE METOT

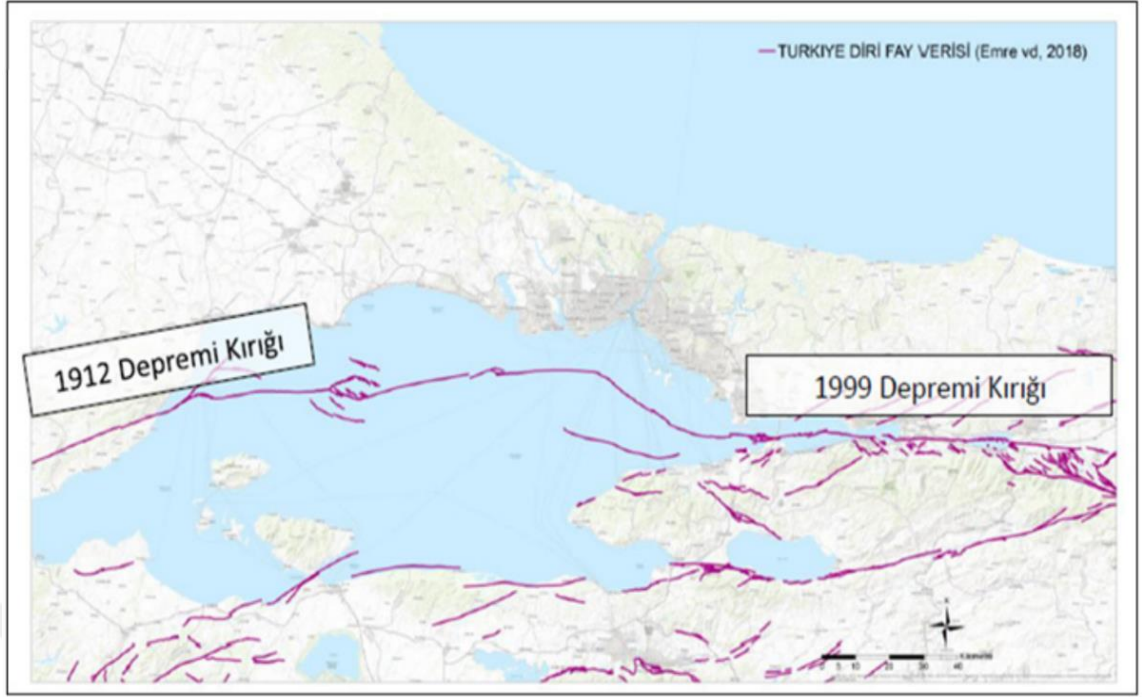
İstanbul Silivri ilçesi zeminlerinin sıvılaşma potansiyellerinin belirlenmesi için bölgenin çeşitli noktalarında yapılmış olan zemin etüd raporları kullanılmıştır. Kullanılan zemin etüd raporları bölgede faaliyet gösteren mühendislik firmalarından temin edilmiştir. Zemin etüd raporlarında, yer altı suyu seviyesi, çeşitli derinliklerde SPT değerleri, zemin sınıfı, doğal ve kuru birim ağırlık değerleri, bulk modülleri, poisson oranları, kayma modülleri, inca dane yüzdeleri, kil oranları, su muhtevası bilgilerinden sıvılaşma analizinde kullanılacak olan parametreler alınmıştır.

2.1. Silivri Bölgesinin Tanıtılması

Silivri, Marmara Bölgesi'nde bulunan İstanbul iline bağlı bir ilçedir. İstanbul il merkezinin 69 kilometre batısında bir sahil şehridir. Yüzölçümü toplam 862.54 km² 'dir. İstanbul Avrupa yakasının batı kısmında, 41 derece, 3 dakika kuzey paraleli ve 28 derece, 20 dakika doğu meridyenlerinin kesiştiği noktadadır. TÜİK 2019 verilerine göre ilçe nüfusu 193.680'dir.(Harita 1, Harita 2, Harita 3).



Harita 1. Silivri jeoloji haritası.



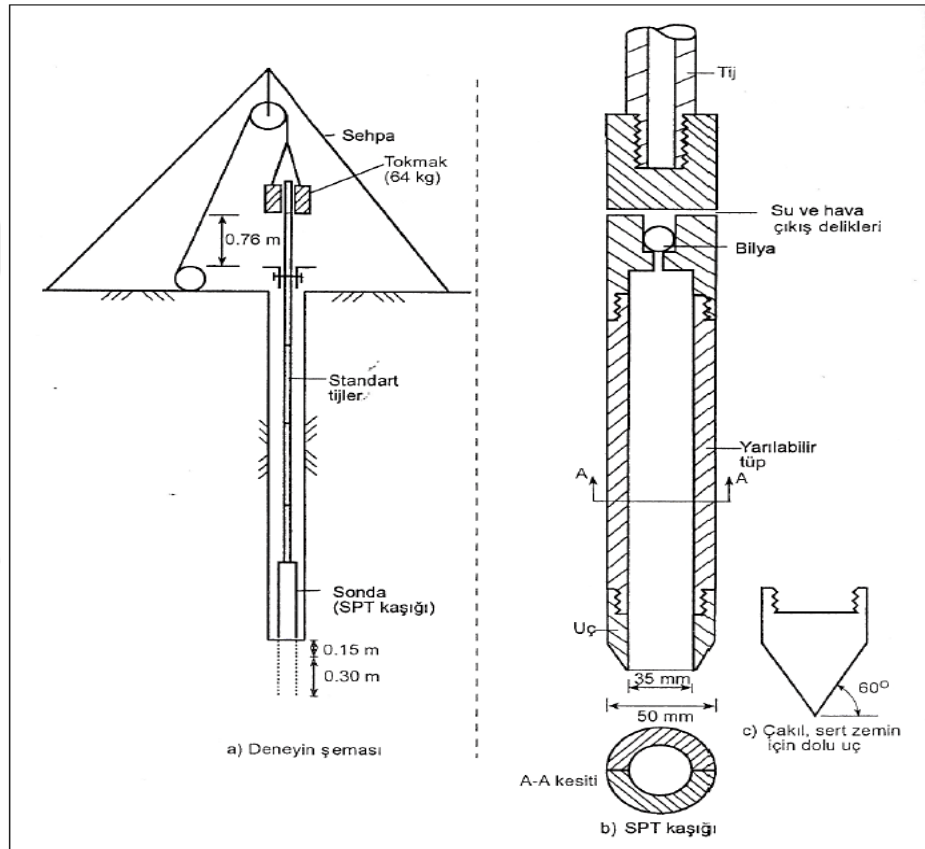
Harita 2. Marmara Bölgesi diri fay haritası. **Kaynak:** (Emre ve diğ., 2018).



Harita 3. Silivri Coğrafi Haritası.

2.2. Standart Penetrasyon Deneyi (SPT)

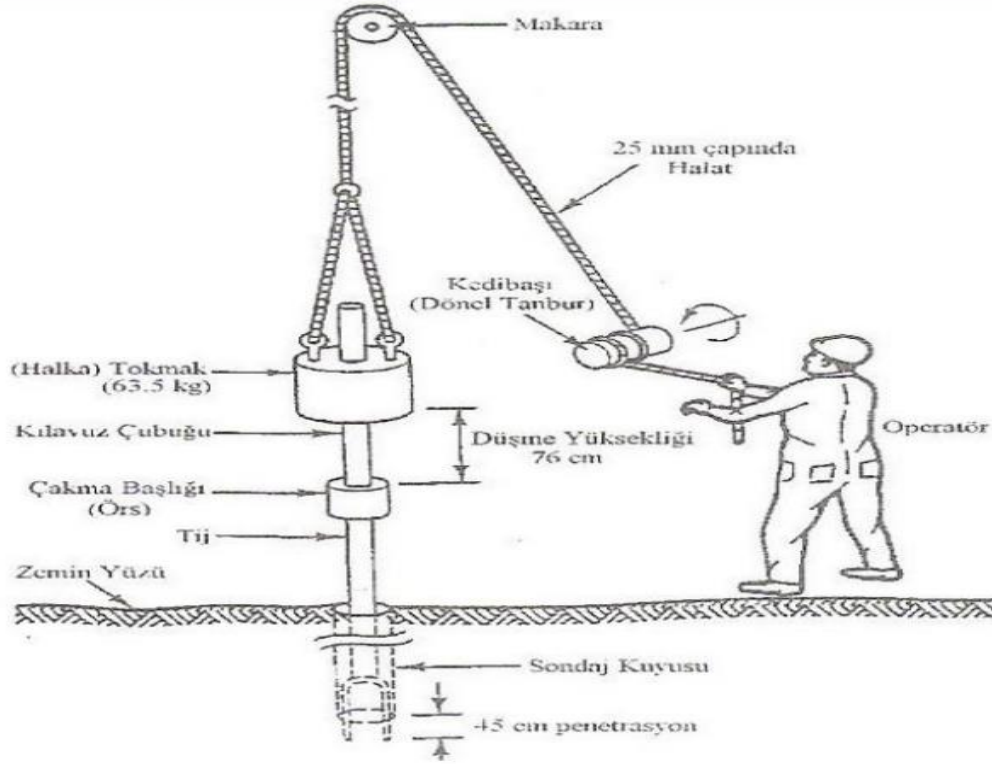
Standart penetrasyon deneyi geoteknik mühendisliğinde yaygın olarak kullanılan eski bir deney yöntemidir. Deneyde kullanılan tokmak, tij vs. mukavemetli ve basittir. SPT, sondaj işlemi sırasında kolaylıkla uygulanabilir ve düşük maliyetlidir, bütün zemin gruplarında ve yer altı su seviyesi altında uygulanabilmektedir. Bahsedilen özelliklerin tümünü, başka bir arazi deneyinde bulmak mümkün değildir. (Sivrikaya ve Toğrol, 2009).



Şekil 19. SPT Deneyi, SPT şeması ve SPT kaşığı. **Kaynak:** (Uzuner, 2011).

2.2.1. Standart Penetrasyon Deneyinin Uygulanışı

Standart penetrasyon deneyi, dinamik olarak 76 cm yükseklikten 63,5 kg ağırlığındaki bir tokmağın düşürülerek standart bir numune alıcının zemine 45 cm çakılması şeklinde uygulanmaktadır.(Şekil 19, Şekil 20) Numune kaşığının zemine 30 cm'lik batmasına karşılık gelen toplam darbe sayısı, zeminin penetrasyon direnci (SPT-N) olarak tanımlanır. Bu deney gevşek kumlar ve sıkı killerden çok sıkı kumlar ve sert killere kadar bir çok zemin türlerinde uygulanabilmektedir (Sivrikaya ve Toğrol, 2003).



Şekil 20. SPT Deneyinin yapılışı1. **Kaynak:** (Coduto, 1994).

2.2.2. $(N_1)_{60}$ Değerinin Belirlenmesi

Standart penetrasyon deneyi yapılırken Dünyanın farklı bölgelerinde çeşitli deney aletleri kullanılmaktadır ve sonuçların evrensel kabul edilebilmesi için düzeltilmesi gerekmektedir. Yaygın kullanılan düzeltme faktörü denklemi (3.1)' de belirtilmiştir.

$$(N_1)_{60} = (SPT - N) \times C_E \times C_B \times C_S \times C_R \quad (3.1)$$

$(N_1)_{60}$ = Teorik serbest düşme tokmak enerjisinin %60'ına göre düzeltilmiş darbe sayısı

SPT-N= Spt deneyinden elde edilen ham değer

C_E = Enerji düzeltme faktörü (Tablo 4)

C_B = Kuyu çapı düzeltme faktörü (Tablo 3)

C_S = Numune alıcı kılıf düzeltme faktörü (Tablo 2)

C_R = Tij uzunluğu düzeltme faktörü (Tablo 5)

Tablo 2. Cs Numune alıcı kılıf düzeltme faktörü

Numune Alıcı Özelliği	Cs Değeri
Kılıflı Numune Alıcı	1,0
Kılıfsız Numune Alıcı	1,1 – 1,3

Tablo 3. C_B Kuyu çapı düzeltme faktörü değerleri (Robertson ve Fear,1996).

Kuyu Çapı (mm)	(C_B)
65-115	1,05
150	1,05
200	1,15

Zemine iletilen şahmerdan enerjisi SPT mekanizmasına göre değişkenlik göstermektedir ve bunun için C_E düzeltme faktörü bulunmuştur. Birçok ülkede enerji verimi %60 olarak kabul edilmektedir (Mollamahmutoğlu ve Babuçcu,2006).

Tablo 4. C_E Enerji düzeltme faktörü (Toğrol ve Sivrikaya,2009).

Ülke	Tokmak Tipi	Tokmak Düşürülme Tipi	ER(%)	C_E
Arjantin	Halka	Kedibaşı	45	0,75
Brezilya	Çivi	Serbest elle düşürme	72	1,20
Çin	Otomatik	Tetikleme(trip)	60	1,00
Japonya	Halka	Tombi trigger	78-85	1,30-1,42
Britanya	Otomatik	Tetikleme	73	1,22
Amerika	Güvenli	Kedibaşında 2 devir	55-60	0,92-1,00

Tablo 5. C_R Tij uzunluğu düzeltme faktörü.

Derinlik	C_R
≤ 3	0,75
4,5	0,85
6	0,95
7,5	0,95
9	0,95
10-30	1,00

2.2.3. Devirsel Gerilme Oranının Belirlenmesi (DGO) (CSR)

Deprem esnasında bir zeminin sıvılaşmaya karşı duyarlı olduğu ve yer altı su seviyesinin altında olduğu yada olacağı düşünüldüğü takdirde, sıvılaşma analizi yapılır. Basitleştirilmiş yöntemde birinci adım, depremin meydana getirdiği devirsel gerilme oranını hesaplamaktır Denklem (3.2) (Robert W. Day, 2002).

$$CSR = \frac{\tau_{dev}}{\sigma'_{v0}} = 0,65 \times r_d \times \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \times \frac{a_{max}}{g} \quad (3.2)$$

$$r_d = 1 - 0,012z \quad (3.3)$$

CSR= Devirsel gerilme oranı (boyutsuz), depremin neden olduğu sismik gerilme oranı

a_{max} = Pik yer ivmesi

g = Yerçekimi ivmesi (9,81 m/s²)

σ_{v0} = Belirli bir derinlikteki toplam düşey gerilme.

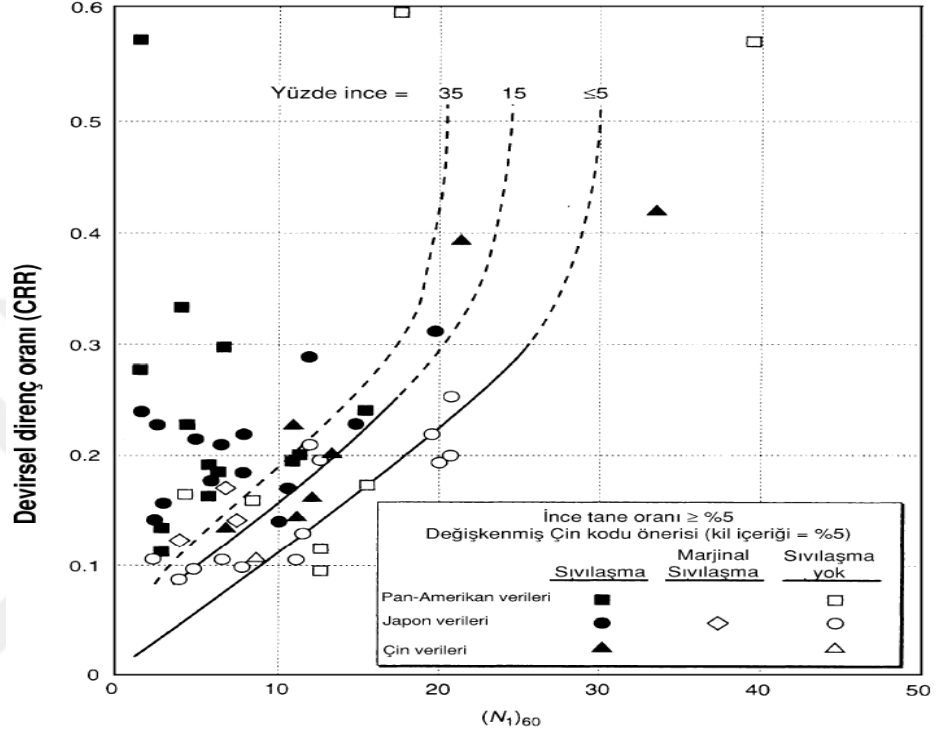
σ'_{v0} = Zemin çökeline σ_{v0} 'nın hesaplandığı derinlikteki düşey efektif gerilme.

r_d = Derinlik azaltma faktörü. (Denklem (3.3))

Z = Zeminin yüzeyinden aşağıda sıvılaşma analizinin yapıldığı derinlik.

2.2.4. Devirsel Direnç Oranının Belirlenmesi (DDO) (CRR)

Devirsel direnç oranı, bölgedeki zeminin sıvılaşma direncini ifade eder. Sıvılaşma direncini tespit etmek için yaygın olarak kullanılan yöntem, standart penetrasyon deneyi ile elde edilen deney verilerini kullanmaktır. (Robert W. Day, 2002). Pratik olarak Şekil 21 deki tablo da kullanılabilir.



Şekil 21. Siltler ve Temiz kumlar için M=7.5 depremlerinde kullanılan CRR grafiği.

Kaynak: (Seed vd., 1985).

7.5 büyüklüğündeki bir deprem için geçerli olan CRR'nin hesaplanmasına ilişkin aşağıdaki denklem kullanılır. (Youd ve ark.,2001)

$$CRR = \left(\frac{1}{34 - (N_1)_{60}} \right) + \left(\frac{(N_1)_{60}}{135} \right) + \left(\frac{50}{(10(N_1)_{60} + 45)^2} \right) - \left(\frac{1}{200} \right) \quad (3.4)$$

$(N_1)_{60}$ = Düzeltilmiş nihai darbe sayısı

2.2.5. Devirsel Direnç Oranının Kayma Dalgası Hızı İle Hesaplanması

Devirsel direnç oranı, kayma dalgası hızı ve ince dane oranı kullanılarak hesaplanabilir.

$$V_{S1} = V_S \left(\frac{P_a}{\sigma'_{v0}} \right)^{0.25} \quad (3.5)$$

$$CRR = \alpha \left(\frac{V_{S1}}{100} \right)^2 + b \left(\frac{1}{(V_{*S1} - V_{S1})} - \frac{1}{(V_{S1})} \right) \quad (3.6)$$

İnce dane oranı $(FC) \leq 5$ için; $V_{S1} * = 215 \text{ m/s}$

$5 < FC < 35$ için; $V_{S1} * = 215 - 0,5(FC - 5)$

$FC > 35$ için; $V_{S1} * = 200 \text{ m/s}$

$P_a = 100 \text{ kPa}$ tekabül eden atmosferik basınç

$a = 0.022$ Sabit

$b = 2.8$ Sabit

V_{S1} = İnce dane oranına (FC) bağlı olarak sıvılaşmanın oluşturduğu üst limit kayma dalgası hızı

2.2.6. Sıvılaşmaya Karşı Güvenlik Katsayısının (Fs) Hesaplanması

Büyüklüğü 7,5' tan farklı depremler için sıvılaşma analizlerinde sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı aşağıdaki denklem yardımıyla belirlenir.

$$F_S = \left(\frac{CRR_{7,5}}{CSR} \right) \times MSF \quad (3.7)$$

MSF = Deprem büyüklüğü ölçek faktörü

Tablo 6. MSF Büyüklük ölçek faktörleri.

Deprem Büyüklüğü	MSF
8 1/2	0,89
7 1/2	1,00
6 3/4	1,13
6	1,32
5 1/2	1,50

2.2.7. Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi (PL)

Güvenlik faktörü F_s , geniş arazilere yönelik göreceli bir değerlendirme yapılmasına ve sıvılaşma potansiyeli açısından sıvılaşma haritalarının hazırlanabilmesini mümkün kılmaktadır. Iwasaki ve ark. (1982) tarafından güvenlik faktörünü de içeren “sıvılaşma potansiyeli indeksi” adında bir parametre ortaya koyulmuştur. (Ali Ateş, 2013)

$$P_L = \int_0^{20} F \times w(z) dz \quad (3.8)$$

$$F = 1 - F_s \quad (F_s < 1,0)$$

$$= 0 \quad (F_s > 1,0)$$

$$w(z) = 10 - (0,5 \times z)$$

P_L = Sıvılaşma potansiyeli indeksi (Tablo 7)

F_s = Sıvılaşmaya karşı güvenlik katsayısı

$w(z)$ = Derinlik için ağırlık fonksiyonu

z = Zemin yüzeyinin altındaki derinlik

Tablo 7. Sıvılaşma potansiyeli indeksine (PL) göre sıvılaşma risk seviyeleri.
(Iwasaki ve ark., 1982)

Sıvılaşma İndeksi (PL)	Sıvılaşma Potansiyeli
0	Çok az
$0 < PL < 5$	Az
$5 < PL < 15$	Yüksek
$15 > PL$	Çok Yüksek

ÜÇÜNCÜ BÖLÜM

ANALİZ VE DEĞERLENDİRME

3.1. Analiz İçin Temel Veriler

Yapılan çalışmalarda Silivri İlçesinin çeşitli bölgelerinden elde edilen sondaj verileri kullanılmıştır. Sondaj verilerinden SPT değerleri, yer altı su seviyesi, birim hacim ağırlıkları, ince dane oranları ve zemin sınıflarına ait veriler elde edilmiştir. Analizlerde kullanılan PGA değerleri TBDY 2018 DD2 deprem yer hareket düzeylerine göre “DD-2 Deprem Yer Hareketi, spektral büyüklüklerin 50 yılda aşılma olasılığının %10 ve buna karşı gelen tekrarlanma periyodunun 475 yıl olduğu seyrek deprem yer hareketini nitelendirmektedir. Bu deprem yer hareketi, standart tasarım deprem yer hareketi olarak da adlandırılmaktadır.” AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web Uygulaması kullanılarak elde edilmiştir. Sıvılaşma analizi Microsoft Excel kullanılarak yapılmıştır. İnceleme kuyularına ait koordinat ve zemin sınıfı verileri Tablo 8’de sunulmuştur.

Tablo 8. İnceleme Kuyularına Ait Koordinat ve Zemin Sınıfı Tablosu

İnceleme Kuyuları Koordinat Ve Zemin Sınıfı Tablosu (TBDY 2018)						
Kuyu No	İl	İlçe	Mahalle	X Koordinat	Y Koordinat	Zemin Sınıfı
1	İstanbul	Silivri	Selimpaşa	41.059560	28.348236	ZD
2	İstanbul	Silivri	Selimpaşa	41.062204	28.347476	ZD
3	İstanbul	Silivri	Çanta	41.066320	28.079478	ZC
4	İstanbul	Silivri	Ortaköy	41.095614	28.360330	ZC
5	İstanbul	Silivri	Ortaköy	41.095528	28.359498	ZC
6	İstanbul	Silivri	Ortaköy	41.102006	28.352448	ZC
7	İstanbul	Silivri	Gümüşyaka	41.044440	28.030719	ZC
8	İstanbul	Silivri	Yeni Mahalle	41.088593	28.256811	ZC
9	İstanbul	Silivri	Mimarsinan	41.076639	28.205835	ZC
10	İstanbul	Silivri	Cumhuriyet	41.068115	28.271301	ZC
11	İstanbul	Silivri	Ortaköy	41.095999	28.360321	ZC
12	İstanbul	Silivri	Cumhuriyet	41.071021	28.263036	ZC
13	İstanbul	Silivri	P. Mehmet Paşa	41.076195	28.248168	ZC
14	İstanbul	Silivri	Değirmenköy	41.097808	28.018011	ZC
15	İstanbul	Silivri	Çanta	41.064964	28.073403	ZC
16	İstanbul	Silivri	Selimpaşa	41.077000	28.381800	ZC
17	İstanbul	Silivri	Mimarsinan	41.078457	28.226409	ZD
18	İstanbul	Silivri	Kavaklı	41.073377	28.321461	ZC

Çalışmada kullanılan sondaj kuyularının mahalle, koordinat ve zemin sınıfı bilgileri tablo halinde sıralanmıştır. 3 Adet Selimpaşa Mahallesi, 2 Adet Çanta Mahallesi, 4 Adet Ortaköy Mahallesi, 1 Adet Gümüşyaka Mahallesi, 1 Adet Yeni Mahalle, 2 Adet Mimarsinan Mahallesi, 2 Adet Cumhuriyet Mahallesi, 1 Adet Piri Mehmet Paşa Mahallesi, 1 Adet Değirmenköy Mahallesi, 1 Adet Kavaklı Mahallesi olmak üzere toplam 18 sondaj kuyusu incelenmiştir.

18 Noktaya ait PGA değerleri, AFAD Türkiye Deprem Tehlike Haritaları İnteraktif Web uygulaması kullanılarak, koordinat, zemin sınıfına ve TBDY 2018 DD-2 deprem tasarım sınıfına uygun olarak uygun olacak şekilde elde edilmiştir. Elde edilen PGA değerleri tabloda sunulmuştur.

3.1.1. Standart Penetrasyon Testi (SPT) İle Analiz

18 Sondaj kuyusuna ait 0m – 4m derinlik aralığındaki standart penetrasyon değerleri Tablo 9’da sunulmuştur.

Tablo 9. 0m - 4m Derinliğe Ait SPT (N30) Verileri Tablosu

İnceleme Kuyuları 0m - 4m Derinlikte SPT Değerleri Tablosu				
Kuyu No	Mahalle	Zemin Sınıfı	PGA (DD2)	SPT (N30)
1	Selimpaşa	ZD	0.338	7
2	Selimpaşa	ZD	0.335	6
3	Çanta	ZC	0.328	26
4	Ortaköy	ZC	0.313	19
5	Ortaköy	ZC	0.313	23
6	Ortaköy	ZC	0.310	16
7	Gümüşyaka	ZC	0.343	52
8	Yeni Mahalle	ZC	0.314	13
9	Mimarsinan	ZC	0.321	19
10	Cumhuriyet	ZC	0.327	27
11	Ortaköy	ZC	0.313	20
12	Cumhuriyet	ZC	0.324	7
13	P. Mehmet Paşa	ZC	0.321	7
14	Değirmenköy	ZC	0.321	22
15	Çanta	ZC	0.329	26
16	Selimpaşa	ZC	0.327	36
17	Mimarsinan	ZD	0.320	8
18	Kavaklı	ZC	0.325	26

Tablo 10. 4m - 10m Derinliğe Ait SPT (N30) Verileri Tablosu

İnceleme Kuyuları 4m - 10m Derinlikte SPT Değerleri Tablosu				
Kuyu No	Mahalle	Zemin Sınıfı	PGA (DD2)	SPT (N30)
1	Selimpaşa	ZD	0.338	8
2	Selimpaşa	ZD	0.335	9
3	Çanta	ZC	0.328	51
4	Ortaköy	ZC	0.313	40
5	Ortaköy	ZC	0.313	44
6	Ortaköy	ZC	0.310	51
7	Gümüşyaka	ZC	0.343	R
8	Yeni Mahalle	ZC	0.314	34
9	Mimarsinan	ZC	0.321	51
10	Cumhuriyet	ZC	0.327	51
11	Ortaköy	ZC	0.313	42
12	Cumhuriyet	ZC	0.324	33
13	P. Mehmet Paşa	ZC	0.321	11
14	Değirmenköy	ZC	0.321	42
15	Çanta	ZC	0.329	51
16	Selimpaşa	ZC	0.327	62
17	Mimarsinan	ZD	0.320	41
18	Kavaklı	ZC	0.325	58

18 Sondaj kuyusuna ait 4m – 10m derinlik aralığındaki standart penetrasyon değerleri Tablo 9’da sunulmuştur.

18 Sondaj kuyusuna ait 0m – 4m derinlik aralığındaki standart penetrasyon değerleri, uygun şekilde düzeltilerek (N1)60 değerleri elde edilmiştir. Elde edilen (N1)60 değerleri tablo 10.’de sunulmuştur. 4m – 10m derinlik aralığındaki düzeltilmiş (N1)60 değerleri tablo 11.’de sunulmuştur.

Sıvılaşma analizinde kullanılacak 18 sondaj kuyusuna ait doğal birim hacim ağırlığı ve kuru birim hacim ağırlığı değerleri tablo 13.’de sunulmuştur.

Elde edilen tüm veriler kullanılarak yapılan sıvılaşma analizi sonuçları, 0m – 4m için tablo 14.’de, 4m – 10m için tablo 15.’de sunulmuştur.

Tablo 11. 0m - 4m Derinliğe Ait (N1)60 Değerleri Tablosu

0m- 4m Kuyu Derinliği (N1)60 Değerleri Tablosu							
Kuyu No	Mahalle	SPT (N30)	CE	CB	CS	CR	(N1)60
1	Selimpaşa	7	0,60	1,05	1,00	0,85	3,75
2	Selimpaşa	6	0,60	1,05	1,00	0,85	3,21
3	Çanta	26	0,60	1,05	1,00	0,85	13,92
4	Ortaköy	19	0,60	1,05	1,00	0,85	10,17
5	Ortaköy	23	0,60	1,05	1,00	0,85	12,32
6	Ortaköy	16	0,60	1,05	1,00	0,85	8,57
7	Gümüşyaka	52	0,60	1,05	1,00	0,85	27,85
8	Yeni Mahalle	13	0,60	1,05	1,00	0,85	6,96
9	Mimarsinan	19	0,60	1,05	1,00	0,85	10,17
10	Cumhuriyet	27	0,60	1,05	1,00	0,85	14,46
11	Ortaköy	20	0,60	1,05	1,00	0,85	10,71
12	Cumhuriyet	7	0,60	1,05	1,00	0,85	3,75
13	Piri Mehmet Paşa	7	0,60	1,05	1,00	0,85	3,75
14	Değirmenköy	22	0,60	1,05	1,00	0,85	11,78
15	Çanta	26	0,60	1,05	1,00	0,85	13,92
16	Selimpaşa	36	0,60	1,05	1,00	0,85	19,28
17	Mimarsinan	8	0,60	1,05	1,00	0,85	4,28
18	Kavaklı	26	0,60	1,05	1,00	0,85	13,92

Tablo 11'deki sonuçlara göre en düşük (N1)60 değeri 2 numaralı kuyuya aittir ve 3.21 olarak hesaplanmıştır. En yüksek (N1)60 değeri 7 numaralı kuyuya aittir ve 27.85 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 12'deki sonuçlara göre en düşük (N1)60 değeri 1 numaralı kuyuya aittir ve 4,28 olarak hesaplanmıştır. En yüksek (N1)60 değeri 16 numaralı kuyuya aittir ve 33,20 olarak hesaplanmıştır fakat 7 numaralı kuyuya it standart penetrasyon deneyinde ilgili derinlikteki darbe sayısı 50 değerinin üzerinde olduğundan R (Refü) olarak ifade edilmiştir. En yüksek değer olarak 7 numaralı kuyu da kabul edilebilir.

Tablo 12. 4m - 10m Derinliğe Ait (N1)60 Değerleri Tablosu

4m- 10m Kuyu Derinliği (N1)60 Değerleri Tablosu							
Kuyu No	Mahalle	SPT (N30)	CE	CB	CS	CR	(N1)60
1	Selimpaşa	8	0,60	1,05	1,00	0,85	4,28
2	Selimpaşa	9	0,60	1,05	1,00	0,85	4,82
3	Çanta	51	0,60	1,05	1,00	0,85	27,31
4	Ortaköy	40	0,60	1,05	1,00	0,85	21,42
5	Ortaköy	44	0,60	1,05	1,00	0,85	23,56
6	Ortaköy	51	0,60	1,05	1,00	0,85	27,31
7	Gümüşyaka	R	0,60	1,05	1,00	0,85	R
8	Yeni Mahalle	34	0,60	1,05	1,00	0,85	18,21
9	Mimarsinan	51	0,60	1,05	1,00	0,85	27,31
10	Cumhuriyet	51	0,60	1,05	1,00	0,85	27,31
11	Ortaköy	42	0,60	1,05	1,00	0,85	22,49
12	Cumhuriyet	33	0,60	1,05	1,00	0,85	17,67
13	Piri Mehmet Paşa	11	0,60	1,05	1,00	0,85	5,89
14	Değirmenköy	42	0,60	1,05	1,00	0,85	22,49
15	Çanta	51	0,60	1,05	1,00	0,85	27,31
16	Selimpaşa	62	0,60	1,05	1,00	0,85	33,20
17	Mimarsinan	41	0,60	1,05	1,00	0,85	21,96
18	Kavaklı	58	0,60	1,05	1,00	0,85	31,06

Tablo 13. Birim Hacim Ağırlıkları Tablosu

Birim Hacim Ağırlıkları Tablosu			
Kuyu No	Mahalle	γ_n (kN/m³)	γ_d (kN/m³)
1	Selimpaşa	16,00	14,00
2	Selimpaşa	16,00	12,00
3	Çanta	18,51	15,02
4	Ortaköy	18,43	15,76
5	Ortaköy	18,35	15,25
6	Ortaköy	18,42	15,63
7	Gümüşyaka	18,54	14,74
8	Yeni Mahalle	18,57	15,28
9	Mimarsinan	17,72	14,74
10	Cumhuriyet	18,41	15,44
11	Ortaköy	18,35	14,61
12	Cumhuriyet	18,22	15,76
13	Piri Mehmet Paşa	18,35	14,24
14	Değirmenköy	18,45	14,96
15	Çanta	18,31	15,00
16	Selimpaşa	18,11	14,98
17	Mimarsinan	18,25	14,74
18	Kavaklı	18,13	14,82

Tablo 14. 0m – 4m Derinlikte Sıvılaşma Analizi Tablosu

0m - 4m Derinlikte Sıvılaşma Analizi Tablosu																	
Kuyu No	Derinlik (m)	Sıvılaşan Tabaka Kalınlığı (m)	YSS (m)	(N _v) ₆₀	γ_n (kn/m ³)	γ_d (kn/m ³)	σ_{vo}	σ'_{vo}	a_{max} (PGA)	I _d	CSR	CRR	M _{w-7.5}	F _s	W _z	F _z	PL
1	4,00	4,00	3,00	3,75	16,00	14,00	71,81	62,00	0,34	0,95	0,24	0,06	1,00	0,26	9,00	0,74	26,61
2	4,00	4,00	3,00	3,21	16,00	12,00	69,81	60,00	0,34	0,95	0,24	0,06	1,00	0,25	9,00	0,75	27,09
3	4,00	4,00	0,00	13,92	18,51	15,02	99,32	60,08	0,33	0,95	0,34	0,15	1,00	0,45	9,00	0,55	19,97
4	4,00	4,00	0,00	10,17	18,43	15,76	102,28	63,04	0,31	0,95	0,31	0,11	1,00	0,36	9,00	0,64	22,86
5	4,00	4,00	0,00	12,32	18,35	15,25	100,24	61,00	0,31	0,95	0,32	0,13	1,00	0,42	9,00	0,58	20,83
6	4,00	4,00	0,00	8,57	18,42	15,63	101,76	62,52	0,31	0,95	0,31	0,10	1,00	0,32	9,00	0,68	24,39
7	4,00	4,00	0,00	27,85	18,54	14,74	98,20	58,96	0,34	0,95	0,35	0,36	1,00	1,03	9,00	0,00	0,00
8	4,00	4,00	0,00	6,96	18,57	15,28	100,36	61,12	0,31	0,95	0,32	0,09	1,00	0,27	9,00	0,73	26,14
9	4,00	4,00	0,00	10,17	17,72	14,74	98,20	58,96	0,32	0,95	0,33	0,11	1,00	0,35	9,00	0,65	23,52
10	4,00	4,00	0,00	14,46	18,41	15,44	101,00	61,76	0,33	0,95	0,33	0,15	1,00	0,47	9,00	0,53	19,17
11	4,00	4,00	0,00	10,71	18,35	14,61	97,68	58,44	0,31	0,95	0,32	0,12	1,00	0,37	9,00	0,63	22,72
12	4,00	4,00	0,00	3,75	18,22	15,76	102,28	63,04	0,32	0,95	0,33	0,06	1,00	0,19	9,00	0,81	29,01
13	4,00	4,00	0,00	3,75	18,35	14,24	96,20	56,96	0,32	0,95	0,34	0,06	1,00	0,19	9,00	0,81	29,22
14	4,00	4,00	0,00	11,78	18,45	14,96	99,08	59,84	0,32	0,95	0,33	0,13	1,00	0,39	9,00	0,61	21,86
15	4,00	4,00	3,00	13,92	18,31	15,00	79,74	69,93	0,33	0,95	0,23	0,15	1,00	0,64	9,00	0,36	12,83
16	4,00	4,00	0,00	19,28	18,11	14,98	99,16	59,92	0,33	0,95	0,33	0,21	1,00	0,62	9,00	0,38	13,79
17	4,00	4,00	0,00	4,28	18,25	14,74	98,20	58,96	0,32	0,95	0,33	0,07	1,00	0,20	9,00	0,80	28,70
18	4,00	4,00	3,00	13,92	18,13	14,82	79,02	69,21	0,33	0,95	0,23	0,15	1,00	0,65	9,00	0,35	12,57

Tablo 15. 4m – 10m Derinlikte Sıvılaşma Analizi Tablosu

4m - 10m Derinlikte Sıvılaşma Analizi Tablosu																	
Kuyu No	Derinlik (m)	Sıvılaşan Tabaka Kalınlığı (m)	Yss (m)	(N ₁) ₆₀	γ_n (kn/m ³)	γ_d (kn/m ³)	σ_{vo}	σ'_{vo}	a_{max} (PGA)	r_d	CSR	CRR	Mw.7.5	Fs	Wz	Fz	PL
1	10,00	6,00	3,00	4,28	16,00	14,00	214,67	146,00	0,34	0,88	0,28	0,07	1,00	0,24	6,50	0,76	29,83
2	10,00	6,00	3,00	4,82	16,00	12,00	200,67	132,00	0,34	0,88	0,29	0,07	1,00	0,24	6,50	0,76	29,53
3	10,00	6,00	0,00	27,31	18,51	15,02	248,30	150,20	0,33	0,88	0,31	0,35	1,00	1,12	6,50	0,00	0,00
4	10,00	6,00	0,00	21,42	18,43	15,76	255,70	157,60	0,31	0,88	0,29	0,23	1,00	0,81	6,50	0,19	7,60
5	10,00	6,00	0,00	23,56	18,35	15,25	250,60	152,50	0,31	0,88	0,29	0,27	1,00	0,90	6,50	0,10	3,74
6	10,00	6,00	0,00	27,31	18,42	15,63	254,40	156,30	0,31	0,88	0,29	0,35	1,00	1,20	6,50	0,00	0,00
7	10,00	6,00	0,00	R	18,54	14,74	245,50	147,40	0,34	0,88	0,33	R	1,00	R	6,50	R	R
8	10,00	6,00	0,00	18,21	18,57	15,28	250,90	152,80	0,31	0,88	0,29	0,19	1,00	0,66	6,50	0,34	13,32
9	10,00	6,00	0,00	27,31	17,72	14,74	245,50	147,40	0,32	0,88	0,31	0,35	1,00	1,14	6,50	0,00	0,00
10	10,00	6,00	0,00	27,31	18,41	15,44	252,50	154,40	0,33	0,88	0,31	0,35	1,00	1,14	6,50	0,00	0,00
11	10,00	6,00	0,00	22,49	18,35	14,61	244,20	146,10	0,31	0,88	0,30	0,25	1,00	0,83	6,50	0,17	6,53
12	10,00	6,00	0,00	17,67	18,22	15,76	255,70	157,60	0,32	0,88	0,30	0,19	1,00	0,63	6,50	0,37	14,60
13	10,00	6,00	0,00	5,89	18,35	14,24	240,50	142,40	0,32	0,88	0,31	0,08	1,00	0,25	6,50	0,75	29,08
14	10,00	6,00	0,00	22,49	18,45	14,96	247,70	149,60	0,32	0,88	0,30	0,25	1,00	0,82	6,50	0,18	7,04
15	10,00	6,00	3,00	27,31	18,31	15,00	228,60	159,93	0,33	0,88	0,27	0,35	1,00	1,29	6,50	0,00	0,00
16	10,00	6,00	0,00	33,20	18,11	14,98	247,90	149,80	0,33	0,88	0,31	1,49	1,00	4,82	6,50	0,00	0,00
17	10,00	6,00	0,00	21,96	18,25	14,74	245,50	147,40	0,32	0,88	0,30	0,24	1,00	0,79	6,50	0,21	8,12
18	10,00	6,00	3,00	31,06	18,13	14,82	226,80	158,13	0,33	0,88	0,27	0,57	1,00	2,12	6,50	0,00	0,00

3.1.2. Kayma Dalgası Hızı (Vs30) İle Analiz

18 Sondaj kuyusuna ait Vs30 (m/sn) değerleri Tablo 16'da sunulmuştur. En yüksek Vs30 değeri 6 numaralı kuyuya aittir ve 643m/sn'dir. En düşük Vs30 değeri 9 numaralı kuyuya aittir ve 219m/sn'dir.

Tablo 16. İnceleme Kuyularına Ait Vs30 Değerleri Tablosu

İnceleme Kuyuları Vs30 Değerleri Tablosu					
Kuyu No	Mahalle	X Koordinat	Y Koordinat	Zemin Sınıfı	Vs30 (m/sn)
1	Selimpaşa	41.059560	28.348236	ZD	269
2	Selimpaşa	41.062204	28.347476	ZD	277
3	Çanta	41.066320	28.079478	ZC	466
4	Ortaköy	41.095614	28.360330	ZC	414
5	Ortaköy	41.095528	28.359498	ZC	511
6	Ortaköy	41.102006	28.352448	ZC	643
7	Gümüşyaka	41.044440	28.030719	ZC	428
8	Yeni Mahalle	41.088593	28.256811	ZC	318
9	Mimarsinan	41.076639	28.205835	ZC	219
10	Cumhuriyet	41.068115	28.271301	ZC	513
11	Ortaköy	41.095999	28.360321	ZC	468
12	Cumhuriyet	41.071021	28.263036	ZC	350
13	Piri Mehmet Paşa	41.076195	28.248168	ZC	260
14	Değirmenköy	41.097808	28.018011	ZC	527
15	Çanta	41.064964	28.073403	ZC	405
16	Selimpaşa	41.077000	28.381800	ZC	560
17	Mimarsinan	41.078457	28.226409	ZD	389
18	Kavaklı	41.073377	28.321461	ZC	441

Tablo 17. Vs30 Değerleri İle Sıvılaşma Analizi Tablosu

Veri No	Derinlik (m)	Sıvılaşan Tabaka Kalınlığı (m)	YSS (m)	γ_n (kn/m^3)	γ_d (kn/m^3)	σ_{vo}	σ_{vo}'	a_{max} (PGA)	I_d	CSR	V_s	V_{s1}	CRR	Mw: 7.5	Fs	Wz	Fz	PL
1	10,00	6,00	3,00	16,00	14,00	214,67	146,00	0,338	0,88	0,28	269,00	244,72	0,01	1,00	0,02	6,50	0,98	38,31
2	10,00	6,00	3,00	16,00	12,00	200,67	132,00	0,335	0,88	0,29	277,00	258,43	0	1,00	-0,05	6,50	1,05	40,96
3	10,00	6,00	0,00	18,51	15,02	248,30	150,20	0,328	0,88	0,31	466,00	420,94	0,32	1,00	1,04	6,50	0,00	0,00
4	10,00	6,00	0,00	18,43	15,76	255,70	157,60	0,313	0,88	0,29	414,00	369,50	0,23	1,00	0,79	6,50	0,21	8,14
5	10,00	6,00	0,00	18,35	15,25	250,60	152,50	0,313	0,88	0,29	511,00	459,84	0,40	1,00	1,37	6,50	0,00	0,00
6	10,00	6,00	0,00	18,42	15,63	254,40	156,30	0,310	0,88	0,29	643,00	575,07	0,68	1,00	2,36	6,50	0,00	0,00
7	10,00	6,00	0,00	18,54	14,74	245,50	147,40	0,343	0,88	0,33	428,00	388,44	0,25	1,00	R	6,50	R	R
8	10,00	6,00	0,00	18,57	15,28	250,90	152,80	0,314	0,88	0,29	318,00	286,02	0,08	1,00	0,28	6,50	0,72	28,07
9	10,00	6,00	0,00	17,72	14,74	245,50	147,40	0,321	0,88	0,31	219,00	198,76	0	1,00	-0,21	6,50	0,00	0,00
10	10,00	6,00	0,00	18,41	15,44	252,50	154,40	0,327	0,88	0,31	513,00	460,21	0,41	1,00	1,33	6,50	0,00	0,00
11	10,00	6,00	0,00	18,35	14,61	244,20	146,10	0,313	0,88	0,30	468,00	425,68	0,33	1,00	1,09	6,50	0,00	0,00
12	10,00	6,00	0,00	18,22	15,76	255,70	157,60	0,324	0,88	0,30	350,00	312,38	0,13	1,00	0,44	6,50	0,56	21,97
13	10,00	6,00	0,00	18,35	14,24	240,50	142,40	0,321	0,88	0,31	260,00	238,01	0	1,00	-0,05	6,50	1,05	40,82
14	10,00	6,00	0,00	18,45	14,96	247,70	149,60	0,321	0,88	0,30	527,00	476,52	0,44	1,00	1,44	6,50	0,00	0,00
15	10,00	6,00	3,00	18,31	15,00	228,60	159,93	0,329	0,88	0,27	405,00	360,14	0,22	1,00	0,80	6,50	0,00	0,00
16	10,00	6,00	0,00	18,11	14,98	247,90	149,80	0,327	0,88	0,31	560,00	506,19	0,51	1,00	1,64	6,50	0,00	0,00
17	10,00	6,00	0,00	18,25	14,74	245,50	147,40	0,320	0,88	0,30	389,00	353,04	0,19	1,00	0,62	6,50	0,38	14,90
18	10,00	6,00	3,00	18,13	14,82	226,80	158,13	0,325	0,88	0,27	441,00	393,26	0,27	1,00	1,03	6,50	0,00	0,00

3.2. Analiz Sonuçlarının Değerlendirilmesi

İstanbul İli Silivri ilçesi merkezi ve mahallelerindeki zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesi amacıyla, derinlikleri 0m – 10m arasında değişen 18 sondaj çalışması ile standart penetrasyon deneyi verileri temin edilmiş ve bu deneylerden elde edilen veriler kullanılarak sıvılaşma analizi yapılmıştır. (Tablo 14, Tablo 15, Tablo 17). Analizlerden elde edilen sonuçlar aşağıdaki gibi yorumlanmıştır.

Tablo 18. 0m – 4m Derinlikte Sıvılaşma Analizi Sonuçları

0m - 4m Derinliğinde Sıvılaşma Potansiyelleri					
Kuyu No	İl	İlçe	Mahalle	PL	
1	İstanbul	Silivri	Selimpaşa	26,61	Çok Yüksek
2	İstanbul	Silivri	Selimpaşa	27,09	Çok Yüksek
3	İstanbul	Silivri	Çanta	19,97	Çok Yüksek
4	İstanbul	Silivri	Ortaköy	22,86	Çok Yüksek
5	İstanbul	Silivri	Ortaköy	20,83	Çok Yüksek
6	İstanbul	Silivri	Ortaköy	24,39	Çok Yüksek
7	İstanbul	Silivri	Gümüşyaka	0,00	Çok Az
8	İstanbul	Silivri	Yeni Mahalle	26,14	Çok Yüksek
9	İstanbul	Silivri	Mimarsinan	23,52	Çok Yüksek
10	İstanbul	Silivri	Cumhuriyet	19,17	Çok Yüksek
11	İstanbul	Silivri	Ortaköy	22,72	Çok Yüksek
12	İstanbul	Silivri	Cumhuriyet	29,01	Çok Yüksek
13	İstanbul	Silivri	Piri Mehmet Paşa	29,22	Çok Yüksek
14	İstanbul	Silivri	Değirmenköy	21,86	Çok Yüksek
15	İstanbul	Silivri	Çanta	12,83	Yüksek
16	İstanbul	Silivri	Selimpaşa	13,79	Yüksek
17	İstanbul	Silivri	Mimarsinan	28,70	Çok Yüksek
18	İstanbul	Silivri	Kavaklı	12,57	Yüksek

0m – 4m derinlikte yapılan sıvılaşma analizinde çalışma yapılan alanların neredeyse tamamında sıvılaşma potansiyelinin yüksek ve çok yüksek olduğu görülmektedir (Tablo 18) fakat bir çok alanda yer altı suyuna rastlanmamıştır, sondaj verilerine göre kıyı şeridinde ve dere kenarlarında yer altı su seviyesi yaklaşık olarak 0m – 3m aralığındadır. Bu sebeple kıyı şeridi ve dere kenarlarında çok yüksek sıvılaşma potansiyeli olduğu düşünülmektedir.

Tablo 19. 4m – 10m Derinlikte Sıvılaşma Analizi Sonuçları

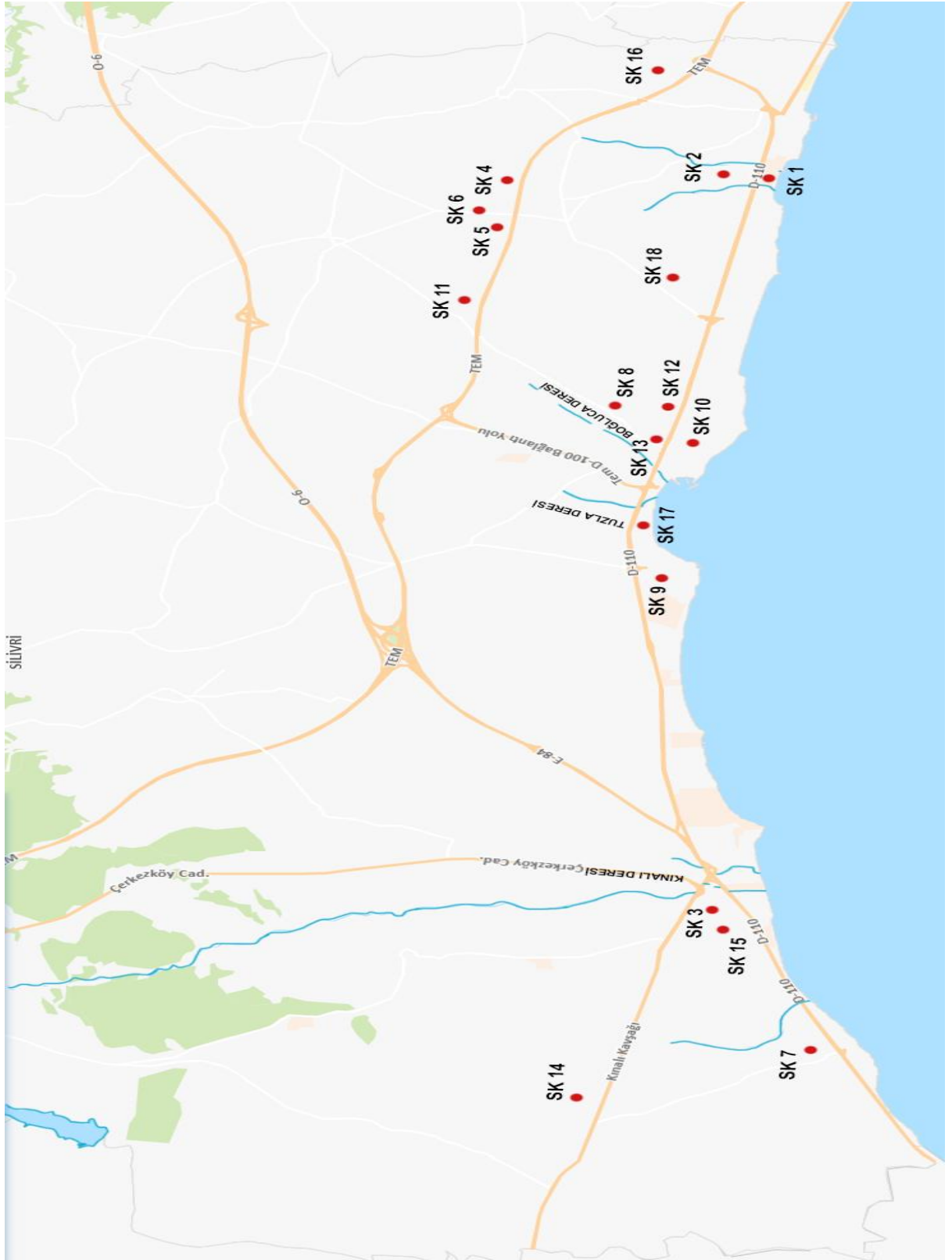
4m - 10m Derinliğinde Sıvılaşma Potansiyelleri					
Kuyu No	İl	İlçe	Mahalle	PL	
1	İstanbul	Silivri	Selimpaşa	29,83	Çok Yüksek
2	İstanbul	Silivri	Selimpaşa	29,53	Çok Yüksek
3	İstanbul	Silivri	Çanta	0,00	Çok Az
4	İstanbul	Silivri	Ortaköy	7,60	Yüksek
5	İstanbul	Silivri	Ortaköy	3,74	Az
6	İstanbul	Silivri	Ortaköy	0,00	Çok Az
7	İstanbul	Silivri	Gümüşyaka	R	Çok Az
8	İstanbul	Silivri	Yeni Mahalle	13,32	Yüksek
9	İstanbul	Silivri	Mimarsinan	0,00	Çok Az
10	İstanbul	Silivri	Cumhuriyet	0,00	Çok Az
11	İstanbul	Silivri	Ortaköy	6,53	Yüksek
12	İstanbul	Silivri	Cumhuriyet	14,60	Yüksek
13	İstanbul	Silivri	Piri Mehmet Paşa	29,08	Çok Yüksek
14	İstanbul	Silivri	Değirmenköy	7,04	Yüksek
15	İstanbul	Silivri	Çanta	0,00	Çok Az
16	İstanbul	Silivri	Selimpaşa	0,00	Çok Az
17	İstanbul	Silivri	Mimarsinan	8,12	Yüksek
18	İstanbul	Silivri	Kavaklı	0,00	Çok Az

4m – 10m derinlikte yapılan sıvılaşma analizinde çalışma yapılan alanların büyük çoğunluğunda sıvılaşma potansiyelinin az ve çok az olduğu görülmektedir (Tablo 19) bir çok alanda standart penetrasyon değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir, ayrıca dere yatağı ve kıyı şeridi haricindeki bölgelerde yer altı suyuna rastlanmamıştır. Sondaj verilerine göre kıyı şeridinde ve dere kenarlarında Çok yüksek sıvılaşma potansiyeli tespit edilmiştir. Bu sebeple kıyı şeridi ve dere kenarlarında çok yüksek sıvılaşma potansiyeli olduğu düşünülmektedir.

Tablo 20. 10m Derinlikte Vs30 Değeri İle Sıvılaşma Analizi Sonuçları

10m Derinliğinde Vs30 Değeri İle Sıvılaşma Potansiyelleri					
Kuyu No	İl	İlçe	Mahalle	PL	
1	İstanbul	Silivri	Selimpaşa	38,31	ok Yüksek
2	İstanbul	Silivri	Selimpaşa	40,96	ok Yüksek
3	İstanbul	Silivri	anta	0,00	çok Az
4	İstanbul	Silivri	Ortaköy	8,14	Yüksek
5	İstanbul	Silivri	Ortaköy	0,00	ok Az
6	İstanbul	Silivri	Ortaköy	0,00	ok Az
7	İstanbul	Silivri	Gümüşyaka	R	ok Az
8	İstanbul	Silivri	Yeni Mahalle	28,07	ok Yüksek
9	İstanbul	Silivri	Mimarsinan	0,00	ok Az
10	İstanbul	Silivri	Cumhuriyet	0,00	ok Az
11	İstanbul	Silivri	Ortaköy	0,00	ok Az
12	İstanbul	Silivri	Cumhuriyet	21,97	ok Yüksek
13	İstanbul	Silivri	Piri Mehmet Paşa	40,82	ok Yüksek
14	İstanbul	Silivri	Değirmenköy	0,00	ok Az
15	İstanbul	Silivri	anta	0,00	çok Az
16	İstanbul	Silivri	Selimpaşa	0,00	ok Az
17	İstanbul	Silivri	Mimarsinan	14,90	Yüksek
18	İstanbul	Silivri	Kavaklı	0,00	ok Az

Tüm kuyulara ait Vs30 değerleri ile sıvılaşma analizi yapılmış ve sıvılaşma potansiyelleri belirlenmiştir (Tablo 20). Vs30 değerleri kullanılarak yapılan sıvılaşma analizi sonucunda, SPT değerleri kullanılarak yapılan sıvılaşma analizi sonuçlarına benzer sonuçlar elde edilmiştir. İki yöntem ile elde edilen sıvılaşma potansiyelleri tablo haline getirilmiştir (Tablo 21).



Harita 4. Sondaj Kuyuları Haritası.

DÖRDÜNCÜ BÖLÜM

TARTIŞMA VE SONUÇ

4.1. Genel Bilgiler

İstanbul İli Silivri İlçesine bağlı Selimpaşa, Çanta, Ortaköy, Gümüşyaka, Yeni Mahalle, Mimar Sinan, Cumhuriyet, Piri Mehmet Paşa, Değirmenköy, Kavaklı Mahallelerinde sondaj kuyularından edinilen veriler kullanılarak sınıvlaşma analizleri yapılmış ve sınıvlaşma potansiyelleri belirlenmiştir (Tablo 14, Tablo 15, Tablo 17).

Çalışmada Selimpaşa mahallesinde 3 adet sondaj kuyusu, Çanta Mahallesinde 2 adet sondaj kuyusu, Ortaköy Mahallesinde 4 adet sondaj kuyusu, Gümüşyaka Mahallesinde 1 adet sondaj kuyusu, Yeni Mahallede 1 adet sondaj kuyusu, Mimar Sinan Mahallesinde 2 adet sondaj kuyusu, Cumhuriyet mahallesinde 2 adet sondaj kuyusu, Piri Mehmet Paşa Mahallesinde 1 adet sondaj kuyusu, Değirmenköy Mahallesinde 1 adet sondaj kuyusu, Kavaklı Mahallesinde 1 adet sondaj kuyusu olmak üzere Silivri ilçesinde toplam 18 sondaj kuyusu incelenmiştir. (Harita 4).

Analizlerde kullanılan PGA (en büyük yer ivme) değerleri AFAD Türkiye Deprem Haritasından sondaj kuyularının koordinatlarına bağlı olarak alınmıştır. Vs değerleri sondaj kuyularının bulunduğu noktada yapılmış zemin etüdlerinden temin edilmiştir. SPT ve Vs30 değerleri kullanılarak yapılan analizler sonucunda elde edilen sınıvlaşma potansiyelleri Tablo 21’de sunulmuştur

Dere yataklarından ve kıyı şeridinden uzak olan inceleme alanlarının büyük çoğunluğunda sınıvlaşma potansiyelinin az ve çok az olduğu ve bu bölgelerde standart penetrasyon değerlerinin oldukça yüksek olduğu görülmektedir (Harita 5) ayrıca bu bölgelerde yer altı suyuna rastlanmamıştır.

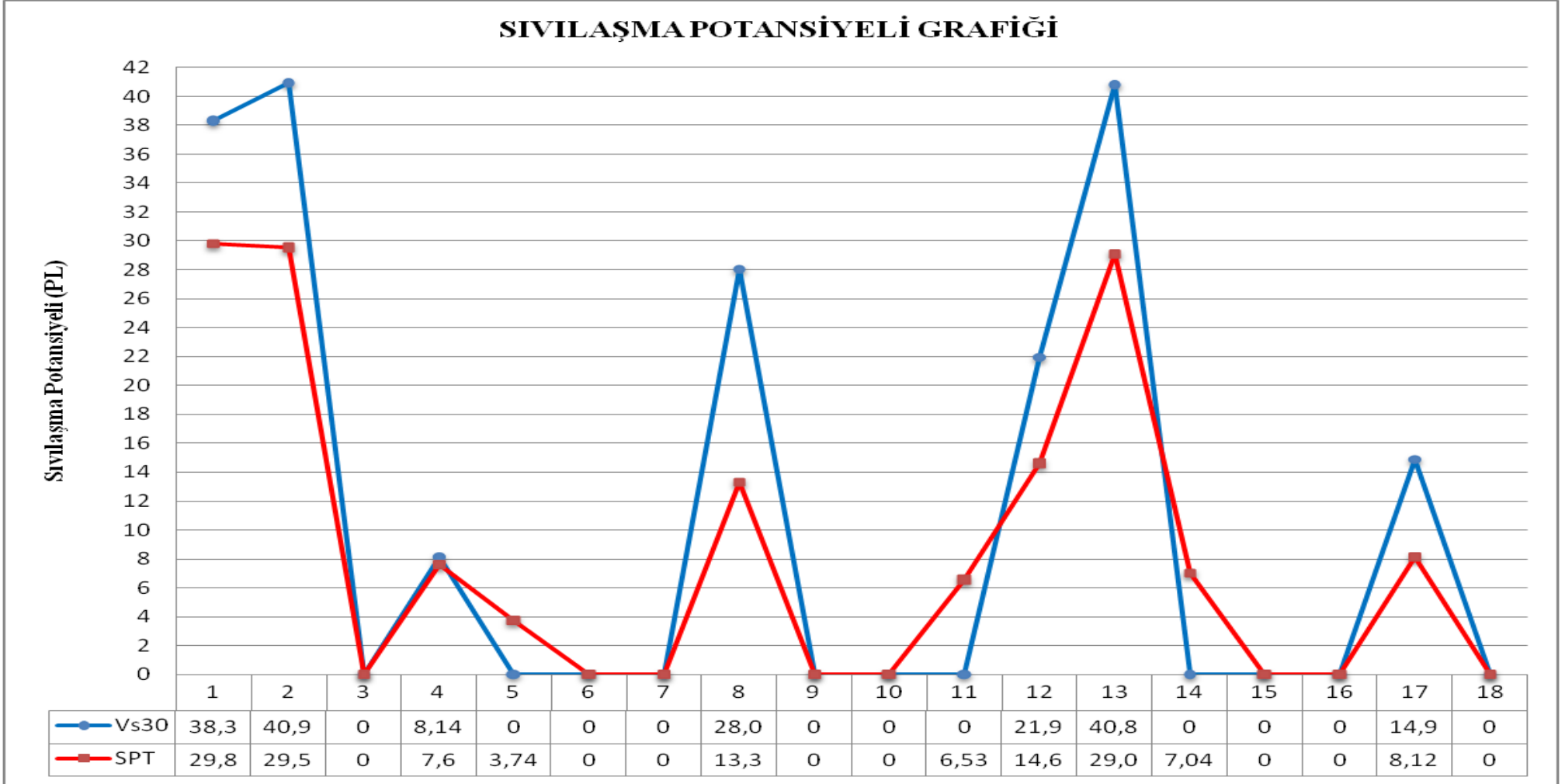
4.2. Sonuçlar

Yapılan analizler sonucunda elde edilen verilere göre kıyı Şeridinde ve dere yataklarına yakın bölgelerde çok yüksek sıvılaşma potansiyeli tespit edilmiştir (Harita 5). Bu sebeple kıyı Şeridi ve dere yataklarına yakın alanlarda inşa edilmesi planlanan yapılar için mutlaka zemin sıvılaşmasına karşı zemin iyileştirme yöntemlerinin kullanılmasının gerekli olduğu düşüncesine varılmıştır.

Tablo 21. Sıvılaşma Potansiyeli Tablosu

Sıvılaşma Potansiyeli Tablosu					
Kuyu No	İl	İe	Mahalle	Vs30	SPT
1	İstanbul	Silivri	Selimpaşa	ok Yüksek	ok Yüksek
2	İstanbul	Silivri	Selimpaşa	ok Yüksek	ok Yüksek
3	İstanbul	Silivri	anta	çok Az	ok Az
4	İstanbul	Silivri	Ortaköy	Yüksek	Yüksek
5	İstanbul	Silivri	Ortaköy	ok Az	Az
6	İstanbul	Silivri	Ortaköy	ok Az	ok Az
7	İstanbul	Silivri	Gümüşyaka	ok Az	ok Az
8	İstanbul	Silivri	Yeni Mahalle	ok Yüksek	Yüksek
9	İstanbul	Silivri	Mimarsinan	ok Az	ok Az
10	İstanbul	Silivri	Cumhuriyet	ok Az	ok Az
11	İstanbul	Silivri	Ortaköy	ok Az	Yüksek
12	İstanbul	Silivri	Cumhuriyet	ok Yüksek	Yüksek
13	İstanbul	Silivri	Piri Mehmet Paşa	ok Yüksek	ok Yüksek
14	İstanbul	Silivri	Değirmenky	ok Az	Yüksek
15	İstanbul	Silivri	anta	ok Az	ok Az
16	İstanbul	Silivri	Selimpaşa	ok Az	ok Az
17	İstanbul	Silivri	Mimarsinan	Yüksek	Yüksek
18	İstanbul	Silivri	Kavaklı	ok Az	ok Az

Grafik 1. Sıvılaşma Potansiyeli Grafiği



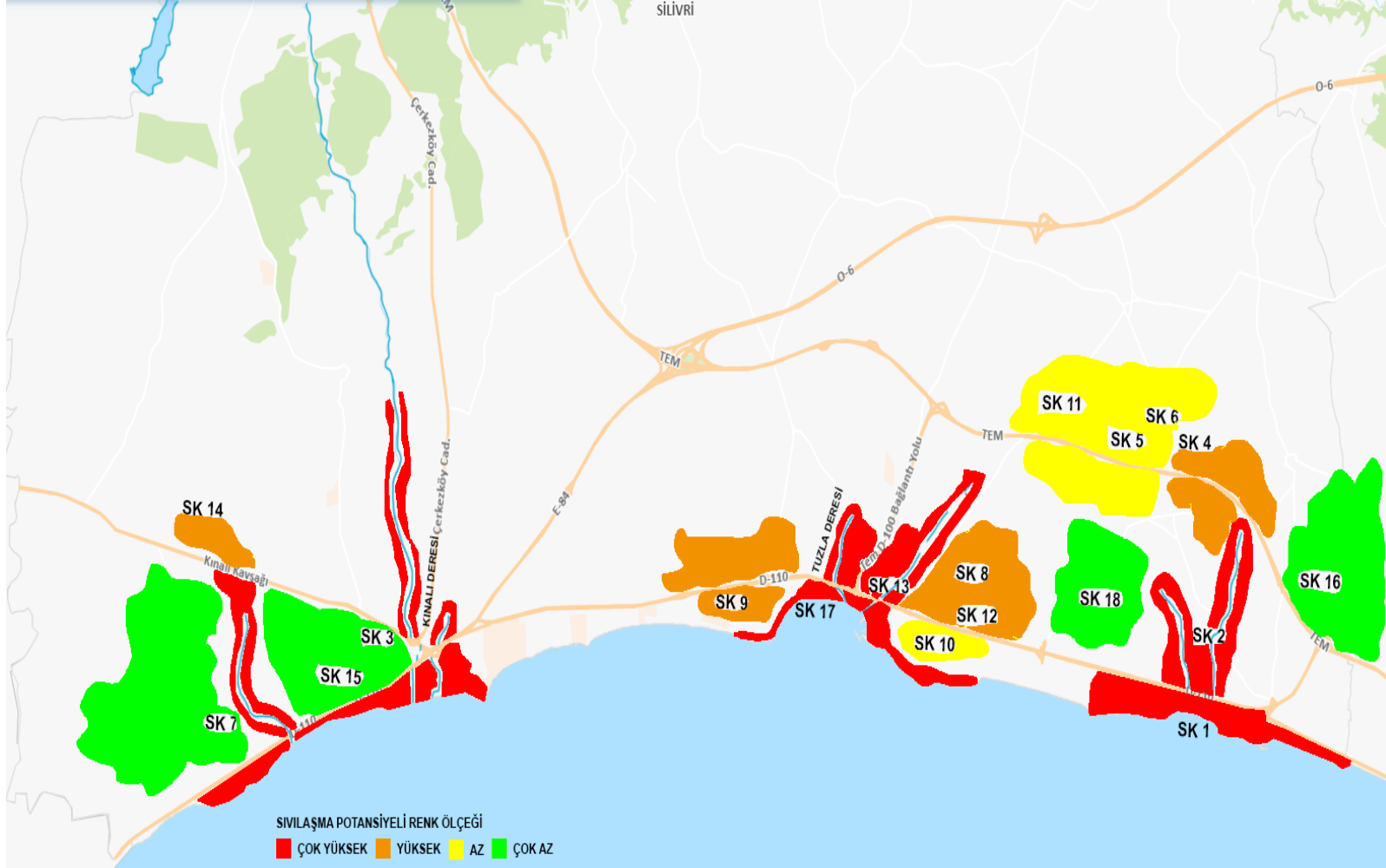
Standart penetrasyon deney verileri ve Vs30 verileri kullanılarak elde edilen analiz sonuçları çizgi grafiği şeklinde Grafik 1 de sunulmuştur. Grafik 1 incelendiğinde iki analiz sonuçlarının birbiri ile örtüştüğü görülmektedir. Çizgi grafiğinin tepe noktaları iki analiz için de benzer şekildedir. Bazı kuyulara ait sonuçlar arasında sayısal olarak fark olduğu görülse de sıvılaşma potansiyeli değerlendirmesine göre aynı sonuçların elde edildiği görülmektedir.

Analiz sonuçları kullanılarak Harita 5 oluşturulmuştur. Çok yüksek sıvılaşma potansiyeline sahip alanlar kırmızı renk ile belirtilmiştir. Kırmızı alanların kıyı şeridi ve dere yataklarında yoğunlaştığı görülmektedir. Yüksek sıvılaşma potansiyeline sahip alanlar turuncu renk ile belirtilmiştir. Turuncu alanlar genellikle kırmızı alanların devamında yoğun olarak görülmektedir yani kıyı şeridi ve dere yataklarından uzaklaştıkça kırmızı renkten turuncu renge geçildiği görülmektedir. Az sıvılaşma potansiyeline sahip alanlar sarı renk ile belirtilmiştir. Çok az potansiyele sahip alanlar ise yeşil renk ile belirtilmiştir. Sarı ve yeşil renkli alanlar su kaynaklarından daha uzak ve iç kesimlerde daha çok alan kaplamaktadır. Sarı ve yeşil renkli alanlar standart penetrasyon değerlerinin yüksek olduğu sondaj kuyularının etrafında görülmektedir. Çalışma yapılmayan alanlarda herhangi bir renklendirme yapılmamıştır.

Sıvılaşma potansiyelinin çok az olduğu tespit edilen SK7, SK15 ve SK3 ün bulunduğu yeşil alanın iç kısımlarında bulunan dere yatağına yaklaştıkça yeşil renkten kırmızı renge geçildiği görülmektedir yani çok az potansiyelden çok yüksek potansiyele geçilmektedir. Dere yatağının etrafında zemin yapısında ani bir değişim olduğu anlaşılmaktadır.

Kırmızı ve turuncu renk ile belirtilen alanlarda yapılması planlanan yapıların projelendirme aşamasında zemin etüd çalışmalarının ve detaylı sıvılaşma analizlerinin hassas bir biçimde yapılması gerekmektedir.

Harita 5. Sıvılaşma Potansiyeli Haritası.



4.3. Öneriler

İnceleme alanlarında yapılan inceleme ve analizler neticesinden elde edilen sonuçlara yönelik öneriler aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- Bölgede yapılması planlanan tüm yapılar yürürlükte olan deprem yönetmeliği (Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği 2018), tasarım kurallarının belirtildiği ilgili standartlar ve usullere uygun olarak projelendirilmeli ve projesine uygun olarak inşa edilmelidir.
- Yapı inşasından önce gerekli drenaj sistemi kullanılarak temel elemanının sudan etkilenmemesi için gerekli önlemler alınmalıdır.
- Sıvılaşma meydana gelebilecek bölgelerde projelendirme çalışmalarından önce zemin etütleri özenli bir şekilde yapılmalıdır.
- Zeminin içinde gömülü durumda bulunan su tesisat elemanları gibi alt yapı gereçlerinin sıvılaşmadan kaynaklanabilecek deformasyon ve ve oturmalarından etkilenmemesi için gerekli özen gösterilmelidir.
- İnceleme alanlarında zemin etüd ve detaylı sıvılaşma analizi sonuçlarına göre zemin ıslahı (enjeksiyon, kompaksiyon) alternatifleri değerlendirilmeli ve yapı yükleri sıvılaşma riskinin olmadığı tespit edilen zemin tabakaların aktarılmalıdır.

KAYNAKÇA

- Akbaş, Merve, Ozan Subaşı, Zeynep Kaygusuz ve Recep İyisan. “Sıvılaşma Kaynaklı Oturmaların Azaltılmasında Üst Dolgu Tabakasının Etkisi: Bir Vaka Analizi” Mühendislik Bilim ve Tasarım Dergisi, 11(1)/126-144 (2023).
- Akkaş, Ü., 2006. Sıvılaşma Potansiyeli ve Etkilerinin Azaltılması, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Ali Ateş, Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Arazi ve Laboratuvar Deneyle İle Araştırılması, Ankara/Türkiye, 2013 : 69 – 157.
- Anonymous, 2006a. Why does liquefaction occur? Explanation. On-line: <http://www.ce.washington.edu/~liquefaction/html/why/why1.html>. Accessed at 08 August, 2006.
- Aksu, O. ve TOZ, G., 2002. Zemin sıvılaşmasına yönelik fotogrametrik uygulamalar. İstanbul Teknik Üniversitesi Dergisi/d Mühendislik 1 (2): 7-13.
- Aydın, Candan, 2008. Sıvılaşma Analizi İle İlgili Bir İnceleme, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Çavuş U. Ş., 2004. Deprem Sebebiyle Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Bulanık Mantık Modellemesi (Fuzzy Logic Modelling) ile Değerlendirilmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- Çuha, Burcu, 2018. İstanbul İli Riva Bölgesi Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Ve Zeminlerin Bulanık Mantık Metodu İle İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, İstanbul Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- Dere, A., 2009. Yapay Sinir Ağları Yöntemi ile Sıvılaşma Analizi ve Adapazarı için Örnek Bir Uygulama, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Sakarya.
- Duman, Esra, 2013. Erzincan İl Merkezi Ve Çevresindeki Zeminlerin Standart Penetrasyon Deneyi Verileri Kullanılarak Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Karadeniz Teknik Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Trabzon.

- Ishihara, K., 1985. Stability of Natural Deposits During Earthquakes, Proceedings of the Eleventh International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 11, 321-376.
- Kabak, Sinan, 2021. Kütahya İl Merkezinde Belirli Bir Bölge Zemininin Sıvılaşma Potansiyelinin Bekirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Afyon Kocatepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Afyon.
- Karanlık, Sevda, 2006. Hatay Altınkoy Çevresinin Zemin Sıvılaşma Riskinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çukurova Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Adana.
- Kocabaş, Ali, 2020. Denizli İli Yerleşim Alanı Zemin Malzemesinin Sıvılaşma Özelliklerinin İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Burdur Mehmet Akif Ersoy Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Burdur.
- Koç, Gülnur, 2007. Gölcük Ve Çevresinin Sıvılaşma Potansiyelinin Değerlendirilmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kocaeli Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Kocaeli.
- Kramer, S. L., "Geotechnical Earthquake Engineering", Prentice-Hall, N. J., London, 45-448 (1996).
- Mogami, T. and Kubo, K., 1953. The Behaviour of Soil During Vibration Proceedings of the Third International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, 152-153
- Mollamahmutoğlu, M. ve Babuçu, F., 2006. Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri, Gazi Kitabevi, Ankara.
- Özçep, F., Aşçı, M., Karabulut, S., Alpaslan, N., Yas, T., 2004, Zeminlerin Sıvılaşma Potansiyelinin Farklı Yöntemlerle Değerlendirilmesi, Uygulamalı Yerbilimleri, Cilt:3, Sayı:2, Sayfa: 11-22
- Robert W. Day, Geotechnical Earthquake Engineering Handbook, United States, McGraw-Hill,2002
- Selçukhan, Onur ve Abdullak Ekinci. "Zemin İyileştirme Yöntemleri ve Yaygın Kullanımına Bağlı Değerlendirilmesi" Avrupa Bilim ve Teknoloji Dergisi Sayı 23, S.481-496, (Nisan 2021).

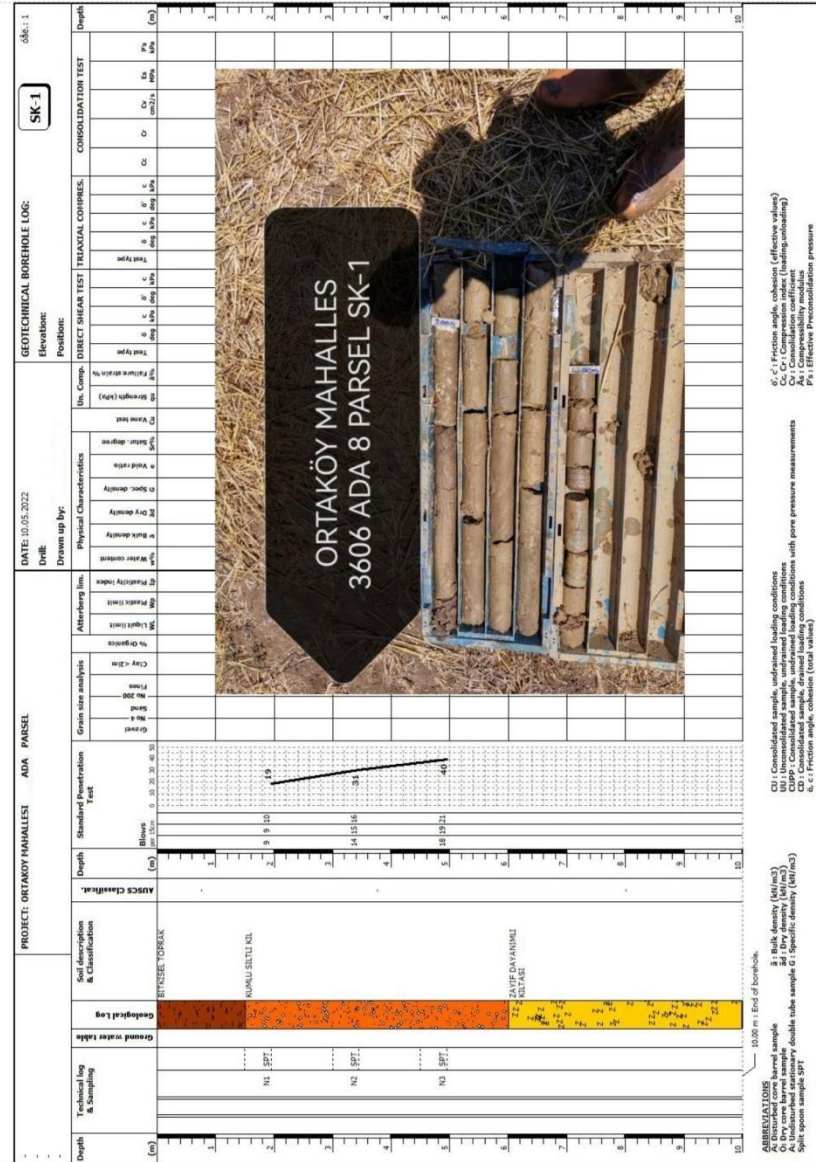
- Seed, H. B. and Idriss, I. M., 1971. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, Journal of the Soil Mechanics and Foundation Div., ASCE, 97, 9, 1249-1273.
- Seed, H. B., Idriss, I.M., 1982, Ground Motion and Soil Liquefaction during Earthquakes, Monograph Series, Earthquake Engineering Reserch Institute, University ofCalifornia,Berkeley,California.
- Sivrikaya, O. ve Toğrol, E., 2003. İnce Daneli Zeminlerde SPT Sonuçlarının Düzeltmesi Üzerine Bir Çalışma, İTÜ Dergisi, 2, 6, 59-67.
- Sivrikaya, O. ve Toğrol, E., 2009. Arazi Deneyleri ve Geoteknik Tasarımda Kullanımları, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- Sönmez, B., 2006. Kocaeli Körfezi Güney Kıyısında Sıvılaşma Potansiyelinin ve Kapak Zemini Kalınlığını Yüzey Deformasyonlarına Etkisinin Araştırılması, Yüksek Lisans Tezi, Hacettepe Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- Şahin, Gizem, Onur Toygar ve Mehmet Rifat Kahyaoğlu. “Sıvılaşma Riskinin Azaltılması için Kullanılan Jet Grout Kolonlarının Verimliliği Üzerine Bir Sayısal Çalışma” Türk Deprem Araştırma Dergisi, 4(2) / 210-229 (Aralık 2022).
- Terzaghi, K., 1925. Erdbaumechanik auf Bodenphysikalischer Grundlage. Vienna, Deuticke.
- Türkoğlu, Pınar, 2017. Çanakkale İli Barbaros Mahallesi Zeminlerinin Sıvılaşma Potansiyelinin Belirlenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Çanakkale Onsekiz Mart Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Çanakkale.
- Uzuner, B.A., 2007. Temel Mühendisliğine Giriş, Derya Kitabevi, Trabzon.
- Youd, T. L., Idriss, I. M., Andrus, R. D., Arango, I., Castro, G., Christian, J. T., Dobry, R., Liam Finn, W. D., Harder, L. F., Jr., Hynes, M. E., Ishihara, K., Koester, J. P., Laio, S. S. C., Marcuson, W. F., III, Martin, G. R., Mitchell, J. K., Moriwaki, Y., Power, M. S., Robertson, P. K., Seed, R. B. and Stokoe, K. H., 2001. 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, 127, 10, 817-833.

Youd, T.L., 1992. Liquefaction, ground failure, and consequent damage during the 22 April 1991 Costa Rica Earthquake. Proceedings of the NSF/UCR US.Costa Rica Workshop on the Costa Rica Earthquakes of 1990-1991, April 2 – 4, 1992, Effects on Soils and Structures, Oakland, California, ERI Publication, No: 93-A, 73-75.

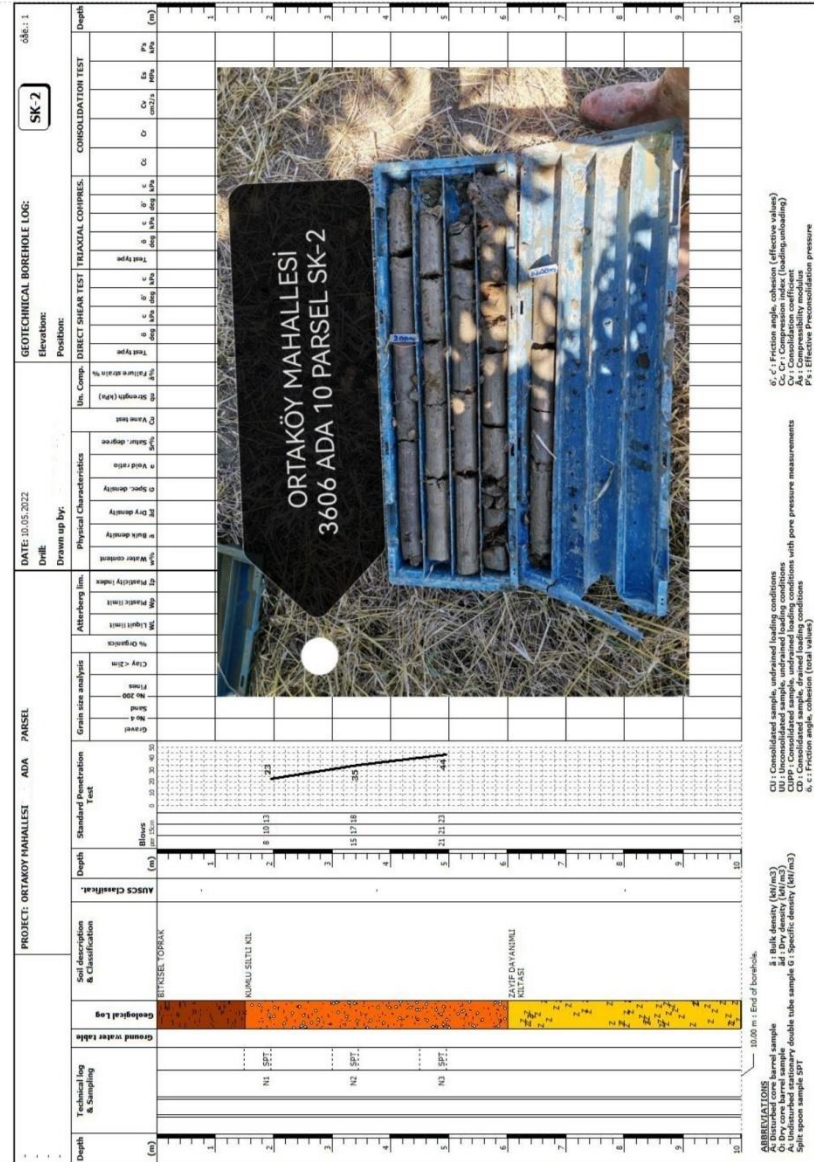
İnternet Kaynakları

1. www.tuik.gov.tr
2. www.afad.gov.tr
3. www.mta.gov.tr
4. www.mevzuat.gov.tr
5. <https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/>
6. www.silivri.bel.tr
7. <https://360.silivri.bel.tr/keos/>

4 Nolu Sondaj Logu



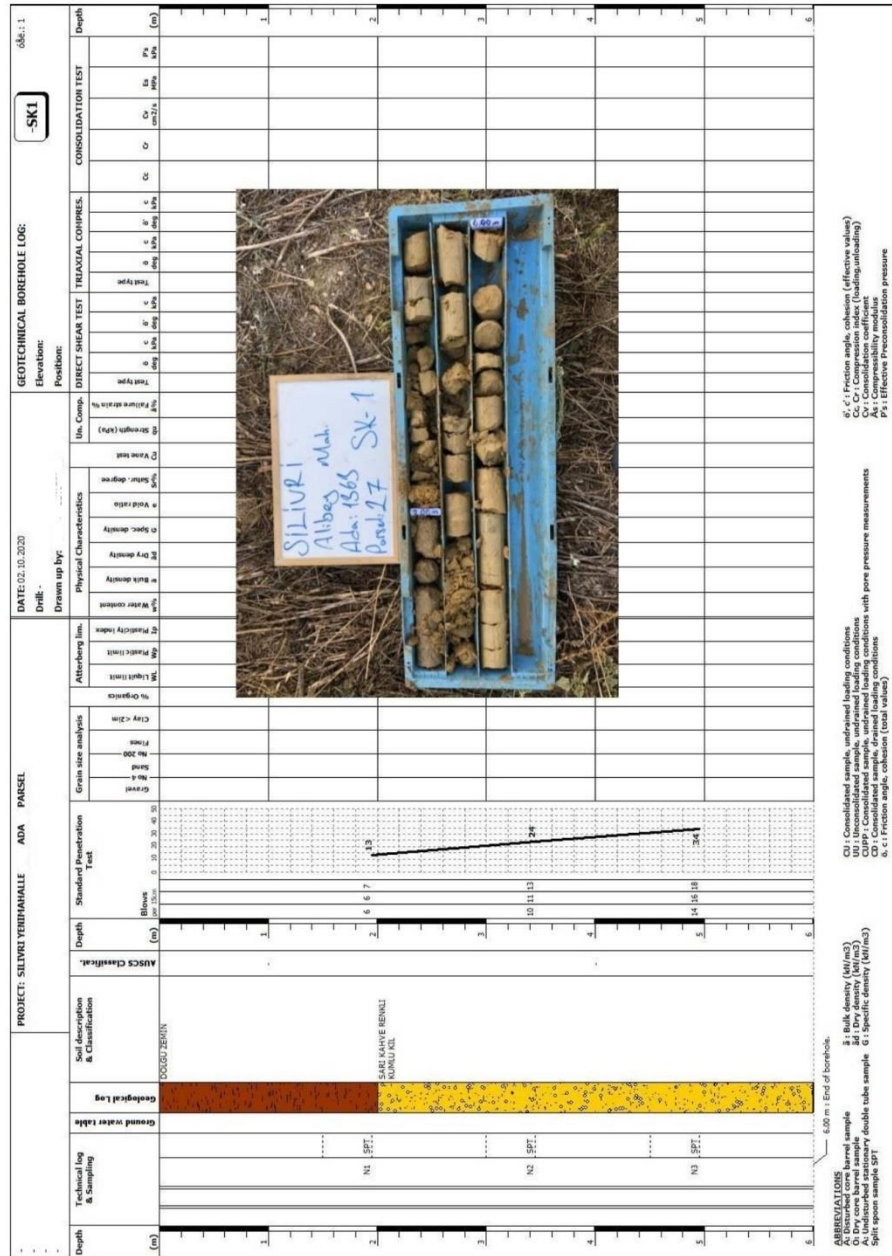
5 Nolu Sondaj Logu



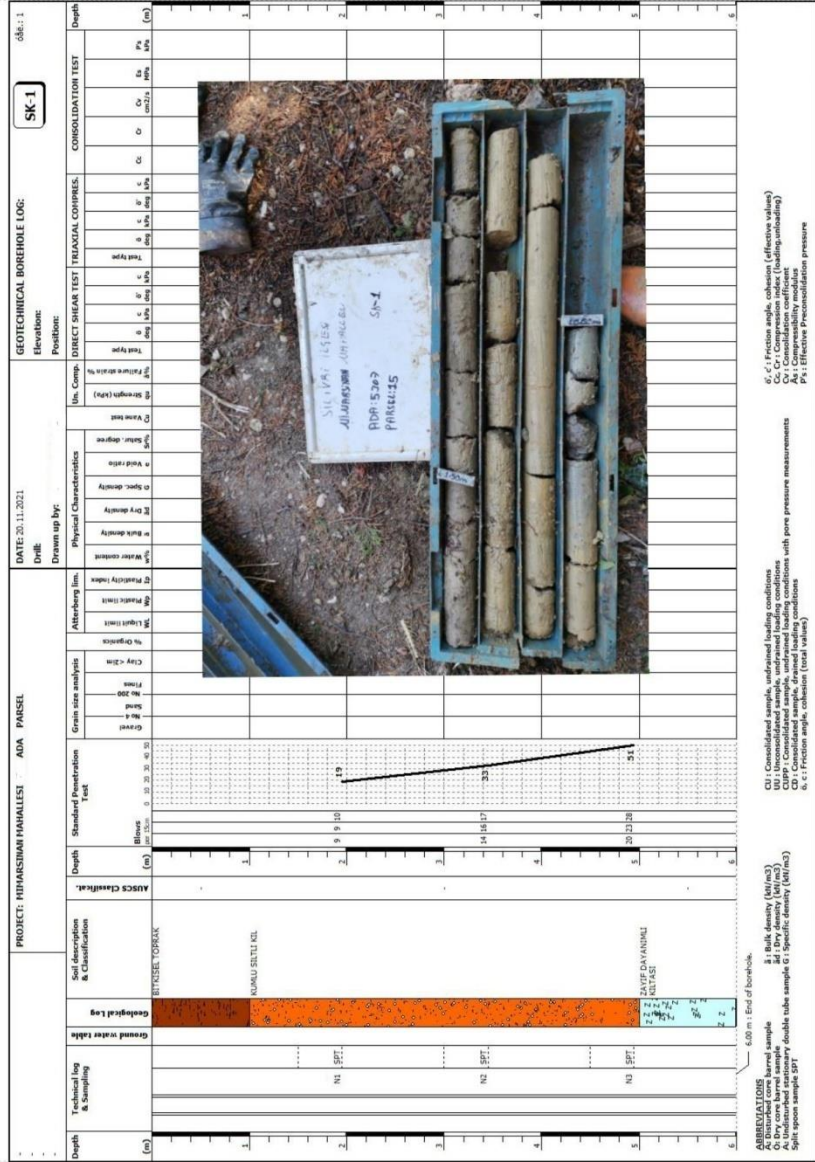
7 Nolu Sondaj Logu

SONDAJ LOGU																
Yüklenici Firma:		İşveren														
Proje Adı:		Zemin ve Temel Etüt Veri Raporu														
İl	İstanbul	Sondaj Derinliği	6.00									Sondaj No	SK-1			
İlçe	Silivri	Başlama Tarihi	10.06.2021									Sayfa No	1			
Mahalle	Gümüşyaka	Bitiş Tarihi	10.06.2021									Sorumlu Jeoloji Mühendisi				
Pafta		Makine Tipi/Met	Sulu / Rotary													
Ada	863	SPT Samerdan II	Otomatik													
Parsel	9	Delgi Çapı(mm)	76													
Sondaj Kotu	60.30	Derinlik	Tarih	Açıklama							Sondör Belge No					
Koordinatı	X	4546004.76	Yer altı Suyu (m)													
	Y	586656.68														
Sondaj derinliği(m)	Mühafaza borusu derinliği(m)	Kuyu içi deneyler	Ornek derinliği (m)	Ornek türü ve no	Standart Penetrasyon Testi (SPT)			Presiyometre Deneyi	Kaya özellikleri					Zemin Tanımlaması	Sondaj derinliği(m)	Formasyon
					Darbe sayısı				Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Net Limit Basınç (kg/cm ²)	TCR %	SCR %	RQD %			
0.0					0-15											
0.5					15-30											
1.0					30-45											
1.5			1.50-1.95	SPT-1	18	21	22	43								
2.0																
2.5																
3.0			3.00-3.45	SPT-2	21	25	27	52								
3.5																
4.0																
4.5																
5.0																
5.5																
6.0																
6.5																
7.0																
7.5																
8.0																
8.5																
9.0																
9.5																
10.0																
10.5																
11.0																
11.5																
12.0																
12.5																
13.0																
13.5																
14.0																
14.5																
15.0																
15.5																
16.0																
16.5																
17.0																
17.5																
18.0																
18.5																
19.0																
19.5																
20.0																
Kıyam durumu (ince daneli)		Sıklık (iri daneli)		Oranlar				Kırıklar / 30cm								
N	0-2	Çok Yumuşak	N	0-4	Çok Gevşek	0-10 %	Fek Az	<1	Seyrek							
N	3-4	Yumuşak	N	5-10	Gevşek	10-20 %	Az	1-2	Orta							
N	5-8	Orta Kattı	N	11-30	Orta Sıklı	20-35 %	Çok	2-10	Sık							
N	9-15	Kattı	N	31-50	Sıklı	35-50 %	Ve	10-20	Çok Sık							
N	16-30	Çok Kattı	N	>50	Çok Sıklı			>20	Parçalı							
N	>30	Sert														
Dayanım (IRI)		Ayrışma		Kaya Kalitesi Tanımı (RQD)				Açıklamalar								
I	Çok Zayıf	I	İzaz	0-25 %	Çok Kötü	UD	Övellenmiş Önek									
II	Zayıf	II	Az Ayrışmış	25-50 %	Kötü	DS	Ösellenmiş Önek									
III	Orta Zayıf	III	Orta Ayrışmış	50-75 %	Orta	SPT	Standart Penetrasyon Testi									
IV	Orta Dayanımlı	IV	Çok Ayrışmış	75-90 %	İyi	TCR	Toplam Karot Yüzdesi									
V	Dayanımlı	V	Tamamen Ayrışmış	90-100 %	Çok İyi	SCR	Çapını Koruyan Karot Yüzdesi									
		VI	Kalın			VST	Veyn Deneyi									
						P	Presiyometre Deneyi									
						K/C	Karot Önek									
						BST	Basınçlı Su Deneyi									

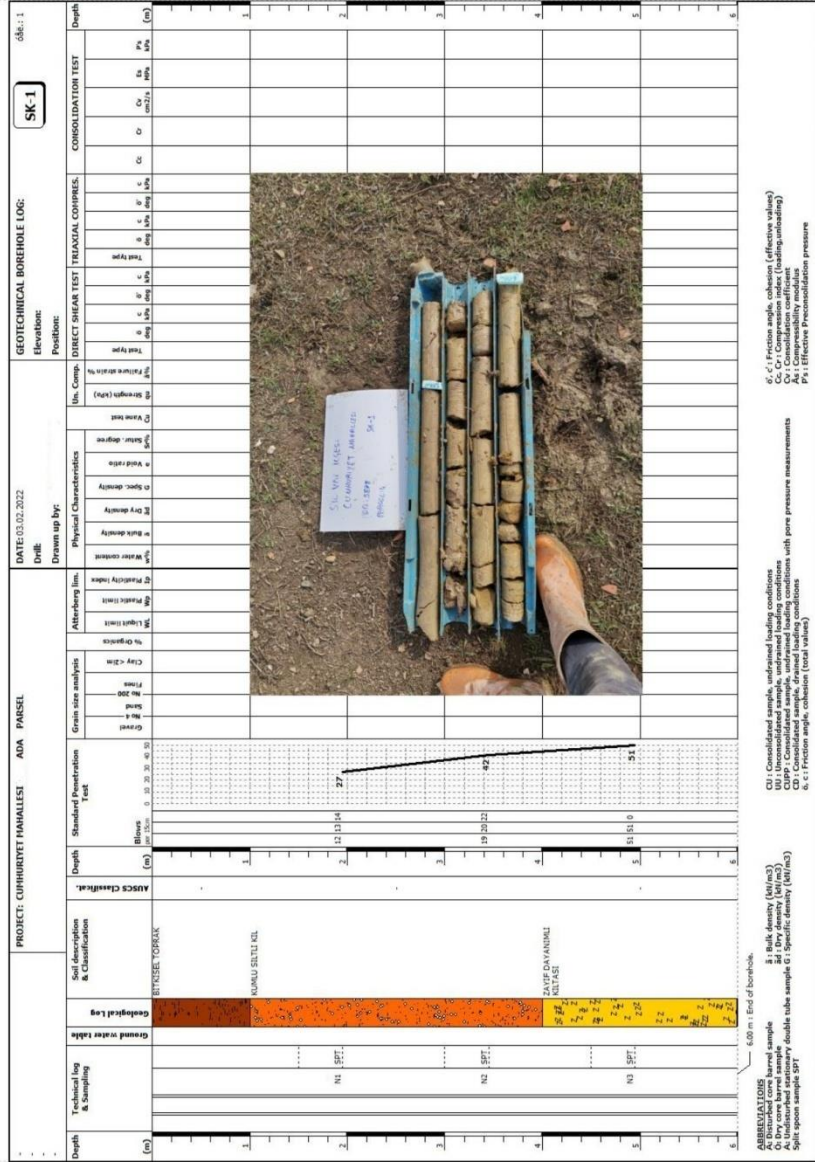
8 Nolu Sondaj Logu



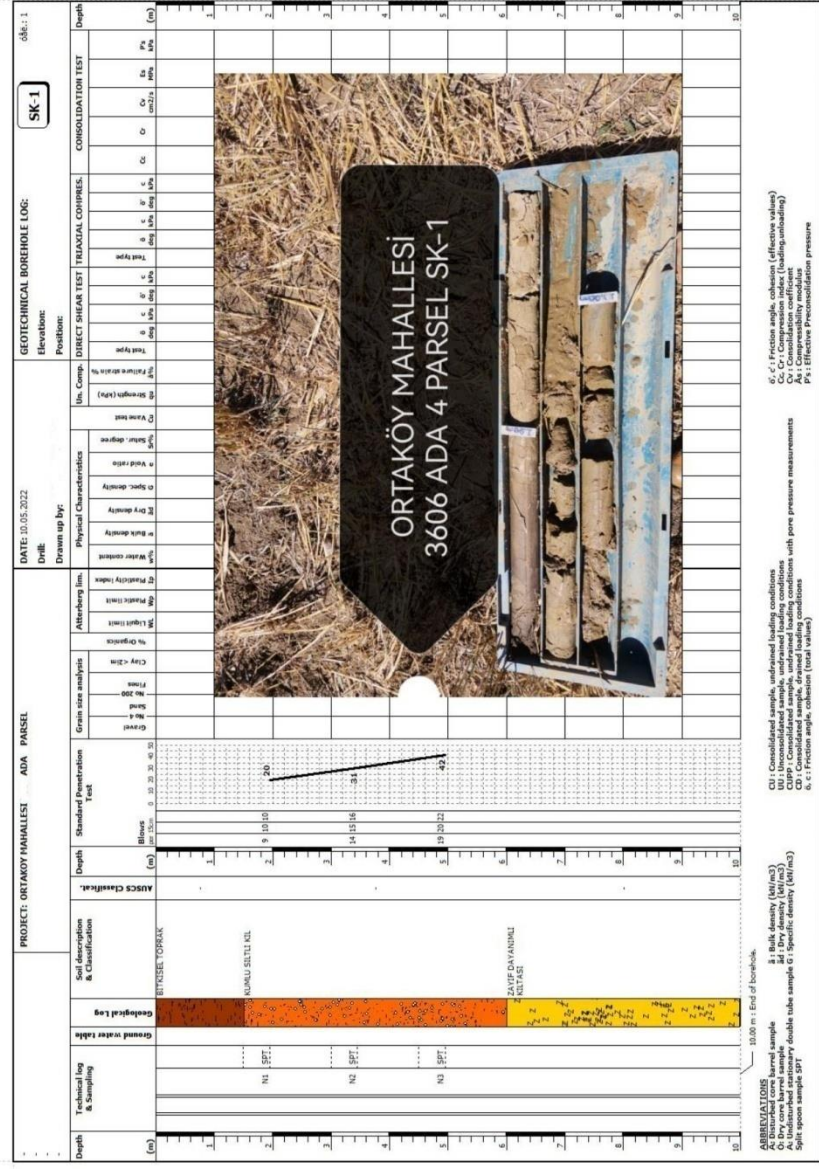
9 Nolu Sondaj Logu



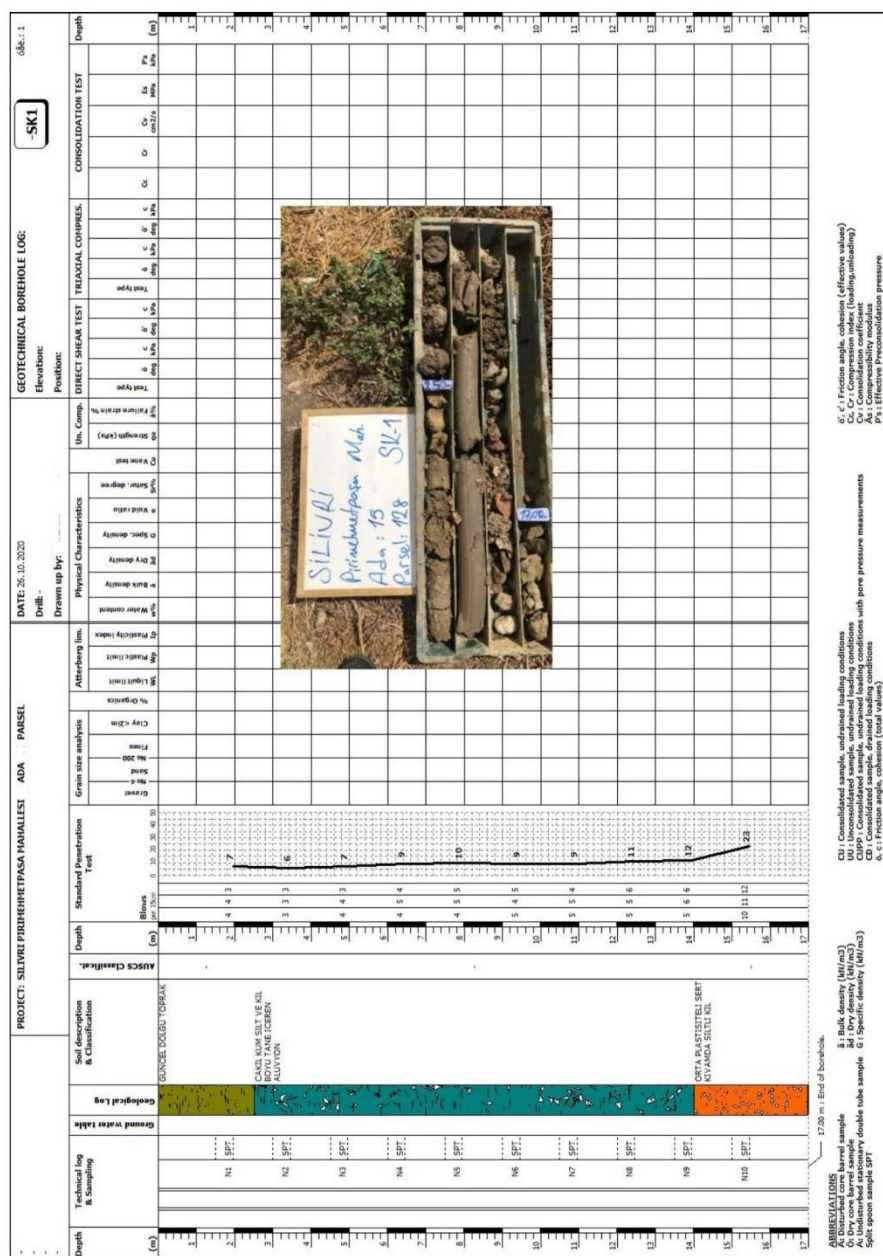
10 Nolu Sondaj Logu



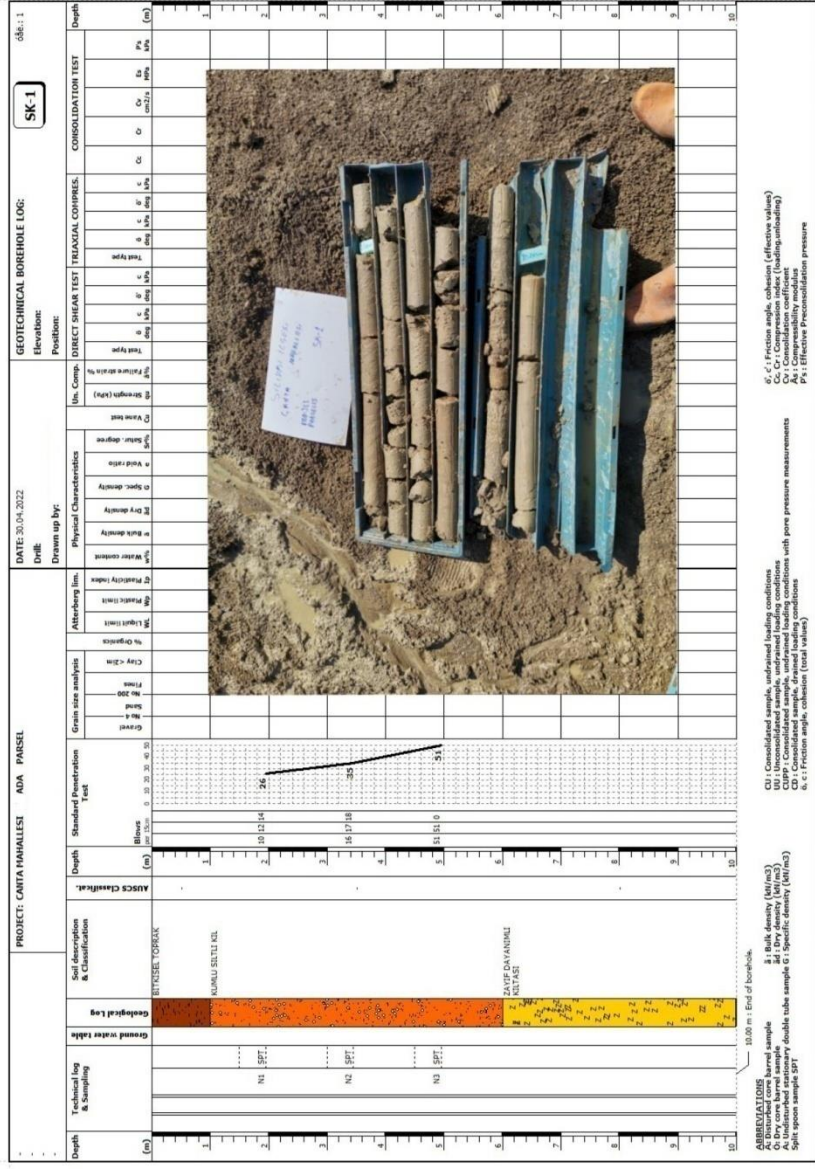
11 Nolu Sondaj Logu



13 Nolu Sondaj Logu



15 Nolu Sondaj Logu



16 Nolu Sondaj Logu

										Sayfa 1												
										Sondaj No : SK1												
										Sondör :												
PROJE ADI :																						
SONDAJ YERİ : Selimpaşa mah.																						
Plaka no / Model no : 34 VHB 49 – SMS 300						MUH. BOR. DER. :																
SONDAJ DERİNLİĞİ : 10.00 m						BAŞ. BİT. TAR. : 18.01.2023–18.01.2023																
SONDAJ KODU :						KOORDİNAT X :																
YER ALTI SUYU : yok						KOORDİNAT Y :																
SONDAJ DERİNLİĞİ (metre)	NUMUNE CİNSİ	MANEVRA SAYISI	STANDART PENETRASYON DENEYİ								JEOTEKNİK TANIMLAMA	PROFİL	SINIFLANDIRMA	AYRIŞMA	KIRIK /30cm	TCR %	RQD %					
			DARBE SAYISI				GRAFİK															
			0-15 cm	15-30 cm	30-45 cm	N ₃₀	10	20	30	40								50				
1,50	K		10	13	13	26														0.20 Nebati toprak	DANIŞMEN FORMASYONU	
3,00	UD K		16	17	19	36														KİL: Sarımsı kahve renkli, yer yer kumlu ve siltli, çok katı. 3.00		
4,50	K		22	24	38	62														KİL: Sarımsı kahve-tabana doğru mavi renkli, yer yer kumlu, sert.		
6,00	K		50/6	-	-	ref																
7,50	K																					
9,00	K																					
10,50																						10.00 Kuyu sonu
DAYANIKLILIK			AYRIŞMA				İNCE DANELİ				İRİ DANELİ											
1-Dayanımlı 2-Orta Dayanımlı 3-Orta Zayıf 4-Zayıf 5-Çok Zayıf			1- Taze 2- Az Ayrışmış 3- Orta Der. Ayr. 4- Çok Ayr. 5- Tam Ayrışmış				N=0-2 Çok. Yumuşak N=3-4 Yumuşak N=5-8 Orta Katı N=9-15 Katı N=16-30 Çok Katı N>30 Sert				N=0-4 Çok Gev. N=5-10 Gevsek N=11-30 Orta Sıkı N=31-50 Sıkı N>50 Çok Sıkı											
KAYA KALİTESİ – RQD			KIRIKLAR				ORANLAR															
% 0-25 Çok Zayıf % 25-50 Zayıf % 50-75 Orta % 75-90 İyi % 90-100 Çok İyi			<1 Seyrek 1-2 Orta 2-10 Sıkı 10-20 Çok Sıkı >20 Parçalı				%5> Pek Az % 5-15 Az %15-35 Çok %35 Ve				%5> Pek Az % 5-20 Az %20-50 Çok											

17 Nolu Sondaj Logu

SONDAJ LOGU																				
												Sondaj No								
												Sayfa No								
												Sondör Belge No								
												Enlem								
												Boylam								
Sondaj derinliği (m)	Muhafaza borusu derinliği (m)	Kuyu içi deneyler	Örnek derinliği (m)	Örnek türü ve no	Standart Penetrasyon Testi (SPT)				Presiyometre Deneyi		Kaya özellikleri					Zemin Profili	Zemin Tanımlaması	Sondaj derinliği (m)	Formasyon	
					Darbe sayısı				Elastisite Modülü (kg/cm ²)	Net Limit Basınç (kg/cm ²)	TCR %	SCR %	RQD %	Ayrışma derecesi	Çatlak sıklığı					Dayanım
					0-15	15-30	30-45	N30												
0.0																				
0.5																				
1.0																				
1.5																				
2.0																				
2.5																				
3.0			3.00-3.50	SPT-1	5	5	6	11												
3.5																				
4.0																				
4.5			4.50-4.95	SPT-2	4	4	4	8												
5.0																				
5.5																				
6.0			6.00-6.45	SPT-3	5	7	7	14												
6.5																				
7.0			7.50-7.95	SPT-4	16	18	20	38												
7.5																				
8.0																				
8.5																				
9.0			9.00-9.45	SPT-5	17	19	22	41												
9.5																				
10.0																				
10.5			10.50-10.95	SPT-6	20	21	22	43												
11.0																				
11.5																				
12.0			12.00-12.45	SPT-7	23	25	26	R												
12.5																				
13.0																				
13.5			13.50-13.95	SPT-8	25	27	R	R												
14.0																				
14.5																				
15.0																				
15.5																				
16.0																				
16.5																				
17.0																				
17.5																				
18.0																				
18.5																				
19.0																				
19.5																				
20.0																				
Kıvam durum (İnce daneli)		Sıklık (iri daneli)		Oranlar		Kırıklar / Altım.														
N	0-2	Çok Yumuşak	N	0-4	Çok Gevsek	0-10 %	Pek Az	<1	Seyrek											
N	3-4	Yumuşak	N	5-10	Gevsek	10-20 %	Az	1-2	Orta											
N	5-8	Orta Katı	N	11-30	Orta Sıkı	20-35 %	Çok	2-10	Sık											
N	9-15	Katı	N	31-50	Sıkı	35-50 %	Ve	10-20	Çok Sık											
N	16-30	Çok Katı	N	>50	Çok Sıkı			>20	Parçalı											
N	>40	Sert																		
Dayanım sınıfı		Ayrışma		Kaya Kalitesi Tanımı (RQD)		Açıklamalar														
I	Çok Zayıf	I	I	İzaz	0-25 %	Çok Kötü	UD	Orselenmemiş Örnek												
II	Zayıf	II	II	Az Ayrışmış	25-50 %	Kötü	DS	Orselenmiş Örnek												
III	Orta Zayıf	III	III	Orta Ayrışmış	50-75 %	Orta	SPT	Standart Penetrasyon Testi												
IV	Orta Dayanımlı	IV	IV	Çok Ayrışmış	75-90 %	İyi	TCR	Toplam Karot Yüzdesi												
V	Dayanımlı	V	V	Tamamen Ayrışmış Kalıntı	90-100 %	Çok İyi	SCR	Çapını Koruyan Karot Yüzdesi												
							VST	Vevn Deneyi												
							P	Presiyometre Deneyi												
							K/C	Karot Örnek												
							BST	Basınçlı Su Deneyi												

Ek 2. Silivri Mahalle Haritası



