

**T.C.  
MANİSA CELAL BAYAR ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
İNŞAAT MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI  
GEOTEKNİK BİLİM DALI**

**SEFERİHİSAR (İZMİR) BÖLGESİNDE SIVILAŞMA ANALİZİ  
VE HARİTALANDIRILMASI**

**Ezgi AKBUĞA**

**Danışman  
Dr. Öğr. Üyesi Seda DURUKAN**



**MANİSA-2019**

**Ezgi  
AKBUĞA**

**SEFERİHİSAR (İZMİR) BÖLGEİNDE SIVILAŞMA ANALİZİ VE  
HARİTALANDIRILMASI**

**2019**

## TEZ ONAYI

Ezgi AKBUĞA tarafından hazırlanan " SEFERİHİSAR (İZMİR) BÖLGESİNDE SIVILAŞMA ANALİZİ VE HARİTALANDIRILMASI" adlı tez çalışması 24/07/2019 tarihinde aşağıdaki jüri üyeleri önünde Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı'nda YÜKSEK LİSANS TEZİ olarak başarı ile savunulmuştur.

Danışman

**Dr. Öğr. Üyesi Seda DURUKAN**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi

Jüri Üyesi

**Prof. Dr. Yeliz Yükselen AKSOY**

İzmir Dokuz Eylül Üniversitesi

Jüri Üyesi

**Dr. Öğr. Üyesi Ender BAŞARI**

Manisa Celal Bayar Üniversitesi



## **TAAHHÜTNAME**

Bu tezin Manisa Celal Bayar Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı Geoteknik Bilim Dalında, akademik ve etik kurallara uygun olarak yazıldığını ve kullanılan tüm literatür bilgilerinin referans gösterilerek tezde yer aldığını beyan ederim.

**Ezgi AKBUĞA**



## İÇİNDEKİLER

	<b>Sayfa</b>
İÇİNDEKİLER .....	I
SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ .....	II
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	III
TABLO DİZİNİ .....	IV
TEŞEKKÜR.....	V
ÖZET.....	VI
ABSTRACT.....	VII
1. GİRİŞ .....	1
2. GENEL BİLGİLER .....	3
2.1. İnceleme Alanının Jeolojisi ve Depremselliği.....	4
2.2. Sıvılaşma Kavramı ve Tarihçesi.....	8
2.3. Sıvılaşma Türleri .....	9
2.4. Sıvılaşmaya Potansiyeli Hesabında Kullanılan Yöntemler.....	12
2.4.1. SPT Verilerine Dayalı Sıvılaşma Analizi .....	13
2.4.2. CPT'ye Dayalı Sıvılaşma Analizi.....	23
2.4.3. Kayma Dalgası Hızına Göre Sıvılaşma Analizi .....	28
3. MATERYAL VE YÖNTEMLER.....	31
3.1 Sondaj Lokasyonları ve Verileri .....	31
3.2 TBDY 2018'e Göre Sıvılaşma Potansiyeli Analizi Yöntemi .....	36
3.3 TBDY 2018'e Göre Bir Sıvılaşma Analizi Örneği .....	42
4. BULGULAR .....	47
4.1.TBDY'ye Göre Sıvılaşma Analizlerinin Sığacık Bölgesine Uygulanması.....	47
4.2. TBDY Yönteminin NCEER ile Karşılaştırılması .....	56
4.3. Sıvılaşma Kaynaklı Oturma Analizleri .....	57
5. SONUÇ VE ÖNERİLER .....	64
KAYNAKLAR .....	66
EKLER .....	70
EK A. 1161 ada-1 parsele ait verilerin orijinal hali .....	70
EK B. 93 ada-11 parsele ait verilerin orijinal hali .....	74
EK C. 51 ada-6 parsele ait verilerin orijinal hali.....	78
EK D. 1279 ada-1 parsele ait verilerin orijinal hali .....	82
EK E. 1163 ada-1 parsele ait verilerin orijinal hali .....	86
EK F. 89 ada-140 parsele ait verilerin orijinal hali .....	90
EK G. 55 ada-1 parsele ait verilerin orijinal hali .....	93
EK H. 55 ada-10 parsele ait verilerin orijinal hali .....	95
EK I. 97 ada-28 parsele ait verilerin orijinal hali .....	98
EK J. 1123 ada-8 parsele ait verilerin orijinal hali.....	100
EK K. 1163 ada-8 parsele ait verilerin orijinal hali .....	104
EK L. 3198 ada-13 parsele ait verilerin orijinal hali.....	105
ÖZGEÇMİŞ .....	108

## SİMGELER VE KISALTMALAR DİZİNİ

<b>SPT</b>	Standart Penetrasyon Testi
<b>CPT</b>	Koni Penetrasyon Testi
<b>YASS</b>	Yeraltı su seviyesi
<b>CRR</b>	Cycling Resistance Ratio (Döngüsel Dayanım Oranı)
<b>CSR</b>	Cycling Stress Ratio (Yaratılmış Döngüsel Direnç Oranı)
<b>N</b>	SPT Deneyi darbe sayısı
<b>N<sub>ar</sub></b>	Arazide elde edilen SPT-N değeri
<b>FC</b>	İnce dane oranı (Fines Content)
<b>M<sub>w</sub></b>	Deprem moment büyüklüğü
<b>MSF</b>	Deprem büyüklüğü düzeltme katsayısı
<b>r<sub>d</sub></b>	Zemin tabakası derinliği için düzeltme faktörü
<b>C<sub>N</sub></b>	Jeolojik gerilme düzeltmesi
<b>C<sub>A</sub></b>	Çakma başlığı düzeltme faktörü
<b>C<sub>B</sub></b>	Sondaj çapı düzeltme faktörü
<b>C<sub>BF</sub></b>	Tokmak düşürme frekansı düzeltme faktörü
<b>C<sub>C</sub></b>	Tokmak yastığı düzeltme faktörü
<b>C<sub>E</sub></b>	Enerji düzeltme faktörü
<b>C<sub>S</sub></b>	Numune alıcısındaki düzeltme faktörü
<b>C<sub>M</sub></b>	Deprem magnitudü düzeltme faktörü
<b>c<sub>u</sub></b>	Drenajsız kayma mukavemeti
<b>D<sub>r</sub></b>	Rölatif sıklık
<b>m<sub>v</sub></b>	Hacimsel sıkışma katsayısı
<b>q<sub>u</sub></b>	Serbest basınç
<b>φ</b>	Kayma mukavemeti açısı
<b>σ<sub>v</sub></b>	Toplam düşey gerilme
<b>σ<sub>v</sub>'</b>	Efektif düşey gerilme
<b>V<sub>s</sub></b>	Kayma dalgası hızı
<b>τ<sub>s</sub></b>	Sıvılaşma için gerekli yatay kayma gerilmesi
<b>τ<sub>o</sub></b>	Ortalama kayma gerilmesi
<b>(N<sub>1</sub>)<sub>60</sub></b>	Düzeltilmiş SPT-N değeri
<b>(N<sub>1</sub>)<sub>60f</sub></b>	İnce malzeme miktarına göre düzeltilmiş SPT-N değeri

<b><math>F_s</math></b>	Sıvılaşma güvenlik sayısı
<b><math>\tau_R</math></b>	Sıvılaşma direnci
<b><math>\tau_{deprem}</math></b>	Zeminde oluşan kayma direnci
<b><math>\gamma_{doy}</math></b>	Doygun birim hacim ağırlığı
<b><math>\gamma_n</math></b>	Doğal birim hacim ağırlığı
<b><math>\gamma_{kuru}</math></b>	Kuru birim hacim ağırlığı
<b><math>q_c</math></b>	Koni Penetrasyon Testi Uç direnci
<b><math>q_s</math></b>	Sürtünme direnci
<b><math>R_f</math></b>	Sürtünme oranı
<b><math>C_Q</math></b>	CPT derinlik düzeltme faktörü
<b><math>S_{Ds}</math></b>	Spektral ivme katsayısı
<b>PGA</b>	En büyük yer ivmesi
<b>DTS</b>	Deprem tasarım sınıfı
<b><math>\delta</math></b>	Oturma



## ŞEKİLLER DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Şekil 2.1. İnceleme alanının lokasyonu.....	3
Şekil 2.2. İnceleme alanının sınırları.....	4
Şekil 2.3. Seferihisar bölgesine ait diri faylar haritası .....	5
Şekil 2.4. İzmir ve civarının jeolojik yapısını belirtir harita .....	6
Şekil 2.5. 1964 Niigata Depremi.....	9
Şekil 2.6. Merced Gölü, 1957 San Francisco Depremi.....	10
Şekil 2.7. Van Depremi, 2011 .....	11
Şekil 2.8. Guatemala Depremi, 1976 .....	11
Şekil 2.9. Niigata Depremi, 1964.....	12
Şekil 2.10. SPT şeması ve SPT kaşığı .....	17
Şekil 2.11. Koni Penetrasyon deneyi .....	24
Şekil 2.12. CPT zemin sınıfı .....	26
Şekil 2.13. Akustik CPT ekipmanları .....	27
Şekil 2.14. Sıvılaşma direncinin Vs ile bulunması .....	29
Şekil 2.15. Maksimum ivmesi ile deprem merkezine olan uzaklık ilişkisi.....	30
Şekil 3.1. Sondaj lokasyonları.....	33
Şekil 3.2. Sondaj lokasyonlarının ve ilgili noktalara ait SDS değerlerinin harita üzerinde gösterimi .....	35
Şekil 3.3. Tasarım spektrumu tanımlayıcı parametreleri .....	38
Şekil 3.4. Örnek analize ait idealize zemin profili .....	43
Şekil 4.1. TBDY 2018'e göre sıvılaşma riski olan bölgeler .....	49
Şekil 4.2. Risksiz bölgelerin haritalandırılması .....	50
Şekil 4.3. Tahmini verilere göre sıvılaşma analizinde riskli çıkan bölgeler .....	51
Şekil 4.4. Tüm verilerden elde edilen sonuçların haritalandırılması .....	52
Şekil 4.5. İnceleme alanı verilerine ait 1.senaryoya (DD2 ve $M_w=7.5$ ) göre sıvılaşma riski haritası.....	54
Şekil 4.6. İnceleme alanı verilerine ait 2.senaryoya (DD3 ve $M_w=7.0$ ) göre sıvılaşma riski haritası.....	55
Şekil 4.7. İnceleme alanı verilerine ait 3.senaryoya (DD4 ve $M_w=6.5$ ) göre sıvılaşma riski haritası.....	55
Şekil 4.8. Ishihara ve Yoshimine, 1992 tarafından oluşturulan abak.....	59
Şekil 4.9. Çetin, 2009 tarafından oluşturulan abak .....	60
Şekil 4.10. 51-6 Ada-Parsel örneğine ait idealize zemin profili .....	61

## TABLO DİZİNİ

	<b>Sayfa</b>
Tablo 2.1. İzmir ve yakın çevresinde son yüzyılda gelişmiş büyük ( $M>5$ ) depremler.....	7
Tablo 2.2.SPT-N sayısına göre killi zeminlerin kıvam kumlu zeminlerin sıklık derecesi.....	19
Tablo 2.3. Granüler zeminlerde rölatif sıklık ve SPT sayıları arasındaki Bağını.....	19
Tablo 2.4. Kohezyonsuz zeminlerde bağıl yoğunluk ile diğer parametreler arasındaki ilişki .....	20
Tablo 2.5. SPT-N ile $D_r$ arasında korelasyon .....	21
Tablo 2.6. Kayma dalgası hızı ile SPT-N arasında korelasyon .....	22
Tablo 2.7. SPT-N 'e göre kohezyonlu zeminlerin kıvamı ile $q_c$ değerleri arasındaki ilişki .....	23
Tablo 2.8. Zemin cinslerine göre $q_u$ ile SPT-N arasındaki ilişki.....	23
Tablo 2.9. Kil zeminlerde kıvam-koni uç direnç bağlantısı.....	27
Tablo 2.10. Kohezyonsuz zeminlerde rölatif sıklık- $q_c$ bağıntısı .....	28
Tablo 3.1. Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen rapor verileri.....	32
Tablo 3.2. Sondaj Koordinatları ve SDS değerleri .....	34
Tablo 3.3. İnceleme alanı kapsamında kullanılacak raporların verileri .....	36
Tablo 3.4. SPT düzeltme faktörleri .....	40
Tablo 3.5. Örnek analiz için kabul edilen veriler.....	43
Tablo 4.1. Sıvılaşma analizi sonuç tablosu. ....	48
Tablo 4.2. Sıvılaşma riski bulunmayan bölgelerden elde edilen veriler tablosu. ....	49
Tablo 4.3. Tahmini verilerle yapılan sıvılaşma analizi tablosu. ....	51
Tablo 4.4. Farklı deprem senaryolarında gerçekleştirilen sıvılaşma analizine ait güvenlik katsayıları (FS) .....	53
Tablo 4.5. TBDY 2018 ve NCEER yöntemlerinden hesaplanan güvenlik katsayıları .....	57
Tablo 4.6. 51-6 Ada-Parsel örneğine ait veriler ve oturma miktarları .....	62
Tablo 4.7. İnceleme alanı kapsamında yapılan oturma hesabı.....	63

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans eğitim hayatım boyunca her zorluğu göğüslememe yardım eden kıymetli bilgileri ile her daim bana ışık olan, yol gösteren, yardımını esirgemeyen kıymetli zamanını bana ayıran çok saygıdeğer danışman hocam Dr. Öğr. Üyesi Seda DURUKAN'a aynı zamanda eğitim hayatıma değerli bilgileri ile katkıda bulunan saygıdeğer hocam Dr. Öğr. Üyesi Ender BAŞARI'ya saygı, minnet ve teşekkürlerimi sunarım.

Bu yolda yürürken bana her daim destek olan, araőtırmalarım ve çalışmalarım katkıda bulunan sevgili eőim Ahmet AKBUğA'ya, tüm hayatım boyunca her zaman bana güç veren, destekleyen ve yanımda olan annem Çile AKATAŐ'a, babam Vahdi SARIKAYA'ya ve kardeőim Kardelen Mısra SARIKAYA'ya sonsuz sevgi ve teşekkürlerimi sunarım.

Ezgi AKBUğA  
Manisa, 2019

## ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

### Seferihisar (İzmir) Bölgesinde Sıvılaşma Analizi ve Haritalandırılması

Ezgi AKBUĞA

Manisa Celal Bayar Üniversitesi  
Fen Bilimleri Enstitüsü  
İnşaat Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Dr. Öğr. Üyesi Seda DURUKAN

Bu çalışma, Seferihisar (İzmir) ilçesi sınırları içinde yer alan alüvyon özellikteki zeminlerin olabilecek deprem etkisi altında sıvılaşma potansiyelinin, arazi Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) verileri kullanılarak Yeni Türkiye Bina Deprem yönetmeliğine (TBDY 2018) göre analiz edilerek incelenmesini içermektedir. Çalışma alanının altından Batı Anadolu Fay Hattı kollarından Seferihisar Yelki fay zonu geçmektedir. Bu olası bir depremde risk oluşturmaktadır. Bu riskin değerlendirilmesi amacıyla Seferihisar ilçesinin yer altı su seviyesi yüksek olan ve deniz kıyısında yer alan Sığacık mahallesindeki Seferihisar Belediyesi tarafından ruhsatlandırılmış yapılardan elde edilen zemin etüt raporları incelenmiştir. Seferihisar belediyesinden elde edilen 18 adet sondaj çalışmasına ait veriler kullanılmıştır. Bu kapsamda, önce TBDY 2018’de verilmiş olan sıvılaşma riski analiz yöntemi tanıtılmış ve örnek bir çözüm ayrıntıları ile sunulmuştur. Ardından, Sığacık mahallesindeki 18 sondaj noktasındaki veriler değerlendirilmiş ve sıvılaşma riskleri TBDY 2018’e göre hesaplanıp harita üzerinde sunulmuş ve tahmini oturma miktarları da hesaplanmıştır.

**Anahtar Kelimeler: (TBDY 2018, Sıvılaşma, SPT)**

**2019, 108 sayfa**

## **ABSTRACT**

**M.Sc. Thesis**

### **Analysis and Mapping of Liquefaction in Seferihisar (İzmir) Province**

**Ezgi AKBUĞA**

**Manisa Celal Bayar University  
Graduate School of Applied and Natural Sciences  
Department of Civil Engineering**

**Supervisor: Dr. Seda DURUKAN**

This study covers the investigation of the liquefaction potential of Seferihisar (İzmir) district alluvial soil deposits under possible earthquakes according to Turkey Building Earthquake regulation (TBDY 2018) by using in-situ Standard Penetration Test (SPT) results. Seferihisar Yelki fault zone which is one of the branches of the Western Anatolian Fault Line lies under the study area. This situation poses a risk in a possible earthquake. In order to evaluate this risk, soil survey reports belonging to the buildings licensed by Seferihisar Municipality in Sığacık district which were located by seaside and had possibly high ground water levels, were obtained and investigated. In this context, initially the liquefaction risk analysis method given in TBDY 2018 was briefly introduced and a sample solution was presented in detail. Afterwards, data from 18 drilling points in Sığacık neighborhood were evaluated and liquefaction risks were calculated according to TBDY 2018 and presented on the map and possible postliquefaction settlements were also calculated.

**Keywords: (TBDY 2018, Liquefaction, SPT)**

**2019, 108 pages**

## 1. GİRİŞ

Deprem esnasında oluşan sismik tehlikelerin en önemli sonuçlarından birisi, zeminde meydana gelen sıvılaşmaya bağlı olarak yapılarda gözlemlenen ve genellikle yıkıcı olan hasarlardır. Tarihe baktığımızda deprem esnasında zeminlerde meydana gelen sıvılaşma olayı 1960'lı yılların sonuna kadar maalesef pek önemsenmemiştir. Zeminin sıvılaşma potansiyelinin ve baş etken olduğu hasarların anlaşılmasına yönelik çalışmalar, 1964 yılında Niigata – Japonya ve Büyük Alaska – ABD’de meydana gelen ve yıkıcı hasarlara sebep olanı depremlerin sonucunda hızlanmıştır. Ülkemizde ise zemin sıvılaşmasının önemi 17 Ağustos 1999 Adapazarı depreminden sonra daha çok anlaşılmış ve araştırılmaya başlanmıştır.

Sıvılaşmanın tanımı şu şekilde yapılabilir; suya doymun gevşek zeminlerin tekrar eden yükler altında sıkışmaya eğilim göstermesinin bir sonucu olarak boşluk suyu basıncının artması buna bağlı olarak kayma direncinin azalması veya ortadan kalkması ile ortaya çıkan ve oldukça büyük şekil değişikliklerinin meydana gelmesine sebep olan olaya zemin sıvılaşması denir. Zemin sıvılaşması sırasında zeminde çeşitli deformasyonlar meydana gelmektedir. Sıvılaşma eğimli arazide meydana gelirse akma türü göçme dediğimiz deformasyon şekli ile, eğimi az arazide meydana gelirse yanıl yayılma olarak nitelendirilmektedir. Daneler arası geniş olan ve gevşek zemin olarak nitelendirilen zeminlerde meydana gelen sıvılaşma sırasında boşluk suyu basıncı birden arttığı için zeminde kum kaynamaları denilen olay meydana gelmektedir ve bunu sonucunda zeminde oturma gerçekleşmektedir [1].

Adapazarı (1999) depremi ve sonrasında saha araştırmaları sıvılaşma olgusunun önceden şüpheliyle yaklaşılın bazı zeminlerde de görüldüğünü göstermiş ve sıvılaşma analizinde kullanılan yeni bağıntıların ortaya çıkmasına yol açmıştır [2].

Ülkemizde de 18 Mart 2018 tarihinde Resmî Gazete’de yayımlanan ve Ocak 2019 itibari ile de yürürlüğe girmiş olan Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği’nde (TBDY 2018) sıvılaşma risk analizi yöntemi tanımlanmış ve ayrıntıları ile sunulmuştur. Bu çalışmada da Seferihisar Belediyesi ile yapılan bir protokol doğrultusunda Sığacık Mahallesiinde ruhsatlandırılmış projelere ait sondaj ve arazi

deney verileri elde edilmiş ve bu veriler ışığında TBDY 2018’de belirtilen sıvılaşma analizi yöntemine göre farklı deprem senaryoları gözetilerek değerlendirme yapılmış, karşılaştırılmış ve harita üzerinde gösterilmiştir. Buna ek olarak, büyüklüğü  $M_w=7,5$  olacak bir deprem sonucunda sıvılaşma etkisi ile oluşabilecek oturma miktarları da iki farklı yöntemle göre hesaplanıp sunulmuştur.



## 2. GENEL BİLGİLER

İnceleme alanı Ege Bölgesinde, İzmir il sınırları içerisinde yer almaktadır. Seferihisar'ın İzmir merkezine uzaklığı 45 km'dir. Seferihisar ilçesinin batı sınırı ve güney sınırının Ege Denizi'ne kıyısı bulunmaktadır. Seferihisar ilçesinin denize uzaklığı ise 5 km'dir. Seferihisar ilçesinin yüzölçümü 386 m<sup>2</sup>'dir. İnceleme alanımızın merkezi olan Sığacık ise İzmir'in Seferihisar ilçesine bağlı olan bir mahallesidir. Sığacık Mahallesi, Sığacık Kalesi ile Teos Antik Kenti sınırları içinde yer almaktadır. Harita üzerindeki lokasyonu Şekil 2.1'de gösterilmiştir, yine inceleme alanının sınırları ise Şekil 2.2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.1. İnceleme alanının lokasyonu [3]





**Şekil 2.2.** İnceleme alanının sınırları [4]

### **2.1 İnceleme Alanının Jeolojisi ve Depremselliği**

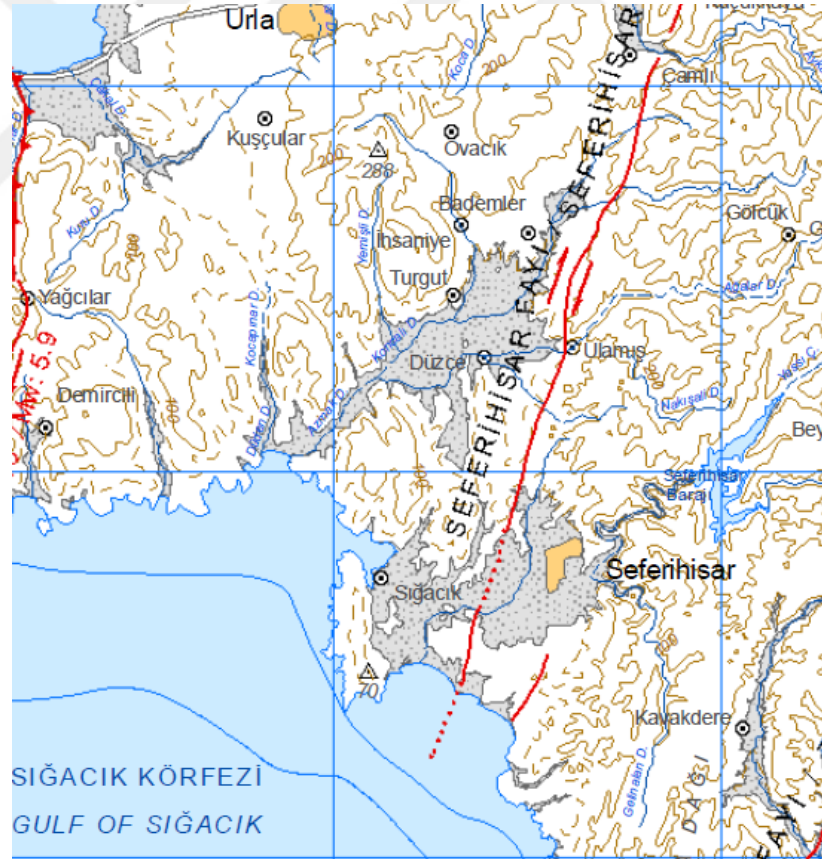
Araştırmanın yapıldığı Seferihisar ilçesine bağlı Sığacık Mahallesi aktif fay hattının üstünde yer almaktadır. Bu fay hattı İzmir' in güneybatısında Güzelbahçe ile Seferihisar ilçesindeki Sığacık körfezi arasında yer alır. Su altında devam eden çalışmalar kapsamında elde edilen verilere dayanarak fay hattının güneye doğru devam ederek Ege Denizi tabanında ilerlediğini öne sürülmektedir [5, 6]. Önceki araştırmacılar tarafından yapılan çalışmalarda da Sığacık ile İzmir Körfezi arasında yer alan Seferihisar fayının dışında da fay hatlarının bulunduğu öne sürülmüştür. Seferihisar'dan geçen Seferihisar fayı sunulan çalışmalarda Yelki-Seferihisar fay hattına karşılık gelmektedir [7].

Drahor, Sarı ve Şalk (1999), yaptığı çalışmalarda pek çok jeotermal özelliği olan bölgelerde olduğu gibi Seferihisar bölgesinin de volkanizma kökenli bölgede oluştuğunu belirtmektedir. Aynı zamanda Alpin Orojenezi esnasında oluşmuş olan pek çok fay hattı ve kırıklık içerdiğini belirtmişlerdir. Yapılan çalışmalar sonucunda Seferihisar bölgesinde bulunan jeotermal alanın GB-KD yönünde uzanan faylar doğrultusunda yüzeye çıktığı ve kumtaşı ile kireçtaşlarından oluşmuş olduğu belirtilmektedir [8].

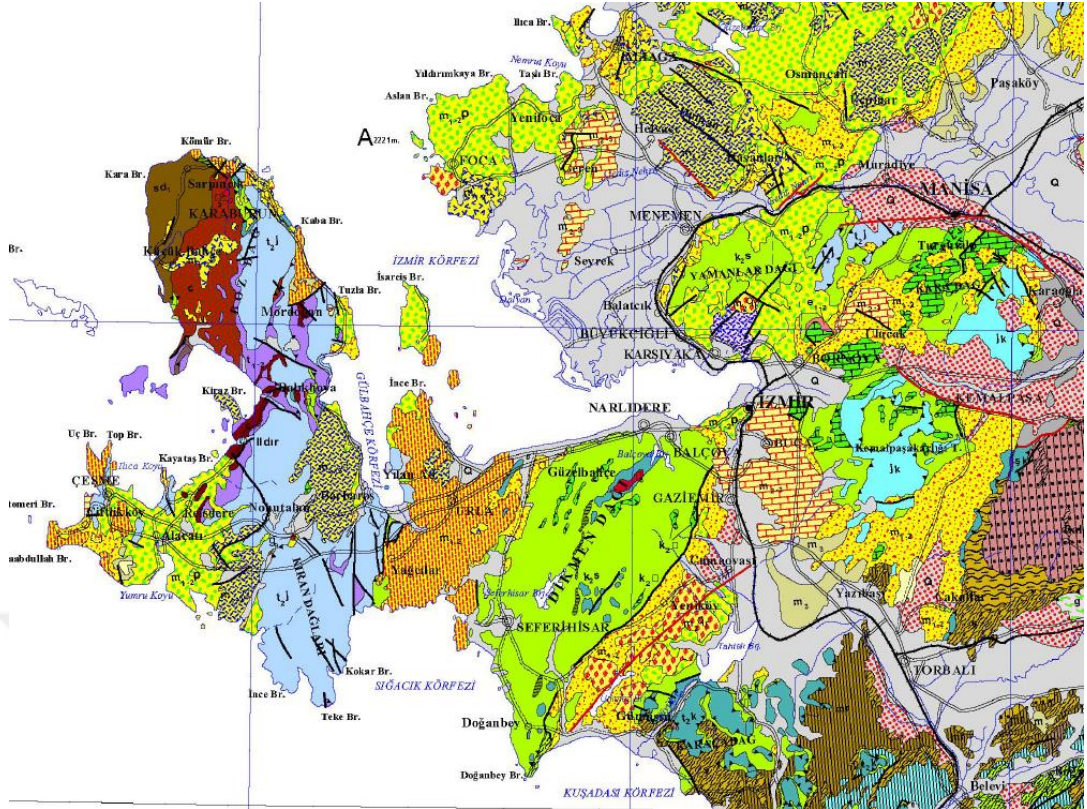
Yapılan bir başka çalışmada Erdoğan (1990), Batı Anadolu’da yer alan, İzmir bölgesinde üç tane tektonik kuşağın bulunduğunu ve bu kuşakları batıdan doğuya doğru, Karaburun kuşağı, Ankara-İzmir hattı ve Menderes masifi kuşağı olarak belirtmiştir [9].

Seferihisar fayının sadece karada yer alan uzunluğu Gülbahçe ile Seferihisar arasında olup uzunluğu 23 km’dir. Fayın su altında ilerleyen bölümü ile birlikte toplam uzunluğunun 30 km’ye ulaştığı sanılmaktadır [10].

Bu araştırmalar kapsamında Emre ve Özalp (2011) tarafından yapılan çalışmada inceleme alanına ait diri fay haritası Şekil 2.3’te gösterilmiştir [11]. İnceleme alanının jeolojik formasyonunu gösteren haritası ise Şekil 2.4’te gösterilmiştir.



Şekil 2.3. Seferihisar bölgesine ait diri faylar haritası [11]



**AÇIKLAMALAR / GEOLOGICAL EXPLANATIONS**

SEDİMENTER KAYALAR / SEDIMENTARY ROCKS		VOLKANİK KAYALAR / VOLCANIC ROCKS	
<b>KUATERNER</b> QUATERNARY	Q	Ayrılmış kuaterner Undifferentiated Quaternary	Basalt Basalt
<b>KUATERNER</b> QUATERNARY	q	Alüvyon yelpazesi, yamaç malzemesi vb. Alluvial fan, slope debris, etc.	Basalt Basalt
<b>KUATERNER</b> QUATERNARY	ti	Tünelin Tunnel	Basalt Basalt
<b>PLEYSTOSEN</b> PLISTOCENE	q1	Ayrılmış karasal kiremliler Undifferentiated continental clastic rocks	Basalt Basalt
<b>PLYO-KUATERNER</b> PLIO-QUATERNARY	plq	Ayrılmış karasal kiremliler Undifferentiated continental clastic rocks	Prekambiyit kayalar Precambrian rocks
<b>PLİYÖSEN</b> PLIOSENE	pl	Karasal karbonatlar Continental carbonate rocks	Basalt Basalt
<b>PLİYÖSEN</b> PLIOSENE	pl1	Ayrılmış karasal kiremliler Undifferentiated continental clastic rocks	Andeolit Andesite
<b>ÜST MİYOSEN - PLİYÖSEN</b> UPPER MIOCENE - PLIOSENE	m1, pl	Karasal karbonatlar Continental carbonate rocks	Dakota, rhyolit, rhyodak (genellikle AB Miyosen) Dakota, rhyolite, rhyodacite (generally Lower Miocene)
<b>ÜST MİYOSEN - PLİYÖSEN</b> UPPER MIOCENE - PLIOSENE	m, pl	Karasal kiremliler Continental clastic rocks	Basalt Basalt
<b>ÜST MİYOSEN</b> UPPER MIOCENE	m1	Neolitik kireçtaş Neolithic limestone	Ayrılmış volkanik kayalar (genellikle andeolit) Undifferentiated volcanic rocks (generally andesite)
<b>ÜST MİYOSEN</b> UPPER MIOCENE	m2	Karasal kiremliler Continental clastic rocks	Prekambiyit kayalar Precambrian rocks
<b>ORTA - ÜST MİYOSEN</b> MIDDLE - UPPER MIOCENE	m3	Karasal karbonatlar Continental carbonate rocks	Ayrılmış volkanik kayalar Undifferentiated volcanic rocks
<b>ORTA MİYOSEN</b> MIDDLE MIOCENE	m4	Karasal kiremliler Continental clastic rocks	Basalt, split Basalt, split
<b>ALT - ORTA MİYOSEN</b> LOWER - MIDDLE MIOCENE	m5	Gilveli kireçtaş, marm., sepi vb. Liasulいた limestone, marl, shale etc.	
<b>ALT - ORTA MİYOSEN</b> LOWER - MIDDLE MIOCENE	m6	Karasal kiremliler Continental clastic rocks	
<b>OLİGOSEN</b> OLIGOCENE	ol	Kiremliler Clastic rocks	
<b>OLİGOSEN</b> OLIGOCENE	ol1	Karasal kiremliler Continental clastic rocks	
<b>ALT - ORTA EÖSEN</b> LOWER - MIDDLE EOCENE	e1,2	Kiremliler ve karbonatlar Clastic and carbonate rocks	
<b>ÜST SENONİYEN</b> UPPER SENONIAN	s1,2	Kiremliler ve karbonatlar (B) Clastic and carbonate rocks (B)	
<b>ÜST KRETASE</b> UPPER CRETACEOUS	k1	Pelâk kireçtaş Pelagic limestone	
<b>ÜST KRETASE</b> UPPER CRETACEOUS	k2	Neolitik kireçtaş Neolithic limestone	
<b>ÜST JURA - ALT KRETASE</b> UPPER JURASSIC - LOWER CRETACEOUS	j1,2	Pelâk kireçtaş Pelagic limestone	
<b>JURA - KRETASE</b> JURASSIC - CRETACEOUS	j3	Neolitik kireçtaş Neolithic limestone	
<b>ALT JURA</b> LOWER JURASSIC	j4	Neolitik kireçtaş Neolithic limestone	
<b>ORTA TRİYAS - KRETASE</b> MIDDLE TRIASSIC - CRETACEOUS	t1,2	Neolitik kireçtaş Neolithic limestone	
<b>ORTA TRİYAS - JURA</b> MIDDLE TRIASSIC - JURASSIC	t3	Neolitik kireçtaş Neolithic limestone	
<b>ALT - ORTA TRİYAS</b> LOWER - MIDDLE TRIASSIC	t4	Karbonatlar ve kiremliler Carbonate and clastic rocks	
<b>TRİYAS</b> TRIASSIC	t5	Karbonatlar ve kiremliler Carbonate and clastic rocks	
<b>PERMO - TRİYAS</b> PERMO - TRIASSIC	pt	Kiremliler ve karbonatlar (yer yer bloklu ve volkanik) Clastic and carbonate rocks (block and volcanic rocks spases)	
<b>PERMİYEN</b> PERMIAN	p	Karbonatlar, yer yer kiremliler Carbonate rocks, clastic rocks spases	
<b>KARBONİFER</b> CARBONIFEROUS	k	Karbonatlar ve yer yer kiremliler Carbonate and clastic rocks in places	
<b>KARBONİFER</b> CARBONIFEROUS	k1	Karbonatlar, yer yer kiremliler Carbonate rocks, clastic rocks spases	
<b>SLURİYEN - DEVONİYEN</b> SLURIAN - DEVONIAN	sl	Kiremliler ve karbonatlar Clastic and carbonate rocks	
<b>PREKAMBRİYEN</b> PRECAMBRIAN	pr	Porfiriyit, şistler Porphyry, schists	

**Şekil 2.4.** İzmir ve civarının jeolojik yapısını belirtir harita [12]

İnceleme alanında 1900 yılından günümüze kadar olan ve büyüklüğü Mw=5 olan depremler Tablo 2.1’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.1.** İzmir ve yakın çevresinde son yüzyılda gelişmiş büyük ( $M > 5$ ) depremler  
[13]

Tarih	Saat (UT)	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (km)	Büyükük (M)	Şiddet ( $I_s$ )	Açıklama
19 Haziran 1966 Menemen Depremi	17:55	38.55	27.35	9	4.8	VI	İzmir ve çevresinde şiddetlice hissedilen bu depremde Menemen'de 100 kadar evin duvarları çatlamıştır.
6 Nisan 1969 Karaburun Depremi	03:49	38.47	26.41	16	5.9	VIII VII	Merkezi Karaburun açıkları olan bu deprem, Çeşme ve Sakız adasında 443 yapıda hasara neden olmuştur.
1 Şubat 1974 İzmir Depremi	00:01	38.55	27.22	24	5.3	VII	Deprem merkezi İzmir'den 15 km uzaklıkta olup birçok yapıda hasara neden olmuştur. İzmir'de 2 kişi ölmüş, 7 kişi yaralanmış, 47 evde ağır hasar görülmüştür. Şehir merkezi ve Karşıyaka'nın bir kısmında ve Alsancak'ta çeşitli hasarlar olmuştur.
16 Aralık 1977 İzmir Depremi	07:37	38.41	27.19	24	5.5	VIII	İzmir'de bu deprem ile bazı evler yıkılmış, 20 kişiye yaralanmıştır. Özellikle Buca, Alsancak, Hatay, Karşıyaka, Bornova, Gültepe ve Tepekik semtlerinde bazı evler hasar görmüş, duvarlar çökmüş ve çatlıklar oluşmuştur.
14 Haziran 1979 Karaburun Depremi	11:44	38.79	26.57	15	5.7	VII	Deprem merkezi Ege denizindedir. İzmir ve çevresinde kuvvetlice hissedilen bu depremde, Alsancak semtinde bazı evlerde duvarlar derin biçimde çatlamıştır. Karaburun'da 2 ev çökmüş, bir kişi yaralanmıştır. Deprem Ege adalarında da hissedilmiştir.
6 Kasım 1992 Doğanbey Depremi	22:08	38.16	26.99	17	5.7	VII	Deprem merkezi Doğanbey civarında olup, 60 kadar yapıda ciddi hasara sebebiyet vermiştir. Deprem İzmir'de kuvvetli olarak hissedilmiştir.
28 Ocak 1994 Manisa Depremi	18:45	38.69	27.49	5	5.2	VII	Manisa ve civarında 60 kadar yapıda hasar vardır.
24 Mayıs 1994 Karaburun Depremi	05:05	38.66	26.54	17	5.0	VII	Karaburun ve civarında 10 kadar yapıda hasar vardır.
10 Nisan 2003 Urla Depremi	03:40	38.26	26.83	16	5.6	VII	Deprem merkezi Urla ile Seferihisar arasında düşmektedir. Urla ve Seferihisar'da bazı evlerin duvarlarında çatlıklar oluşmuştur. Deprem İzmir'de şiddetli olarak hissedilmiştir.
Tarih	Saat (UT)	Enlem (K)	Boylam (D)	Derinlik (km)	Büyükük (M)	Şiddet ( $I_s$ )	Açıklama
19 Ocak 1909 Foça Depremi	04:57	38.00	26.50	60	6.0	IX	Deprem merkezi Güzelhisar, Menemen ve Foça arasındadır. 700 ev yıkılmış, 1000 ev hasar görmüş, 8 kişi ölmüştür.
31 Mart 1928 Torbalı Depremi	00:29	38.18	27.80	10	6.5	VIII	Deprem merkezi Torbalı'da Küçük Menderes ile İzmir K-G çukurluklarının birleştiği yerdedir. Depremde 2000 ev yıkılmıştır. Torbalı-Tepeköy yöresinde fazla hasara, İzmir, Manisa, Alaşehir, Uşak, Bayındır, Tire ve Ödemiş'te hafif hasara neden olmuştur. Deprem bütün Batı Anadolu'da hissedilmiştir.
22 Eylül 1939 Dikili Depremi	00:36	39.07	26.94	10	6.6	VIII IX	Deprem merkezi Dikili'ye çok yakın olup, Dikili ile Midilli arasındadır. 1000 ev yıkılmış, 41 kişi ölmüş, 68 kişi yaralanmıştır. Depremden sonra termal kaynaklar oluşmuştur. Dikili ile Bergama arasında yarıklar oluşmuştur. Deprem bütün Batı Anadolu'da hissedilmiştir.
23 Temmuz 1949 Karaburun Depremi	15:03	38.57	26.29	10	6.6	VIII VII X	Deprem sonucunda Karaburun-Çeşme yarımadasının doğusu, Mordoğan ile yarımada'nın kuzey buru arasında, Denize giren çevresinde, Çeşme yarımadasında ve çevresindeki köylerde oldukça ağır hasar meydana gelmiştir. Çeşme ilçesinin suları çoğalmış, bazı akarsular da kesilmiştir. Sakız adasında da hasar olmuştur ve denizde çok şiddetli hareketler gözlenmiştir. 7 kişi ölmüş, 2200 ev yıkılmış veya hasara uğramıştır.
2 Mayıs 1953 Karaburun Depremi	05:41	38.48	26.57	40	5.0	VII VIII	Deprem merkezi Karaburun yarımadasının kuzeyi olup, Dikili, Urla, Menemen, Çeşme, Bergama ve Foça'da şiddetlice hissedilmiştir. Kötu zeminlerde hasara neden olmuştur. Yaklaşık 300 ev hasar görmüştür.
16 Temmuz 1955 Söke-Balat Depremi	07:07	37.65	27.26	40	6.8	VIII	Deprem merkezi Ege denizindedir. Deprem Ege adalarında, İzmir ve ilçelerinde, Kuşadası ve yakın yerleşim birimlerinde hissedilmiştir. İzmir'de birçok yapının duvarları çatlamış, bazı camilerin minareleri hasar görmüştür. Deprem sırasında büyük bir gürültü duyulmuş, Gediz ve Büyük Menderes nehirlerinde taşmalar meydana gelmiştir. Deprem sırasında 300 ev yıkılmış, 2 kişi ölmüştür.

Bu durum inceleme alanımızda olası bir depremde risk oluşturmaktadır. Bu riskin değerlendirilmesi amacıyla Seferihisar ilçesinin yer altı su seviyesi yüksek olan ve deniz kıyısında yer alan Sığacık mahallesindeki yapı oturma alanlarında yapılan 18 adet sondaj çalışmasına ait olan Seferihisar Belediyesi tarafından ruhsatlandırılmış yapılara ait jeolojik raporlardan elde edilen SPT verileri TBDY 2018'e göre hesaplanmıştır.

## 2.2. Sıvılaşmanın Kavramı ve Tarihçesi

Bilinen en eski zemin sıvılaşması, M.Ö. 373'te meydana geldiği bilinen deprem sonucunda tarihi şehir olan Helice'in (Yunanistan) sıvılaşma sonucunda denize doğru yayılması ile sonuçlanmıştır [14, 15]. Sıvılaşma ile ilgili ilk açıklamayı 1936 senesinde kritik boşluk oranı ile Arthur Casagrande yapmıştır [16]. Sıvılaşma isminin terimsel olarak tarihte ilk kullanılışı ise Mogami ve Kubo tarafından 1953 senesinde olmuştur [17]. Günümüzden örnek verecek olursak 1964 yılında meydana gelen Niigata (Japonya,  $M_w=7,5$ ) ve Alaska (ABD,  $M_w=9,2$ ) depremleri esnasında yapılarda zemin etkileşimi ile meydana gelen deformasyon türleri ile dikkat çekmiş ve zemin sıvılaşmasına olan ilgi artmıştır. Takip eden yıllarda 1989 Loma Prieta (ABD,  $M_w=6,9$ ), 1995 Kobe (Japonya,  $M_w=6,8$ ), 1999 Chi-Chi (Tayvan,  $M_w=7,6$ ) depremler meydana gelmiş ve yapılarda meydana gelen deformasyonların da sıvılaşma alt yapılı olduğu gözlemlenmiştir [18]. Bu deformasyonlar sonucunda yapılarda yan yatma, zemine batma ve devrilme gibi durumlar ortaya çıkmıştır. Takip eden yıllarda ülkemizde 1998 senesinde Ceyhan (Adana,  $M_w=6,2$ ) ve 1999 senesinde Adapazarı ( $M_w=7,5$ ) depremleri meydana gelmiştir. Sıvılaşma altyapılı hasarların en dikkat çeken örneklerinden biri de ülkemizde 17 Ağustos 1999 yılında Adapazarı'nda meydana gelen  $M_w=7,5$  büyüklüğündeki Marmara Depremi'nde gözlemlenmiştir. Bugüne kadar olan depremler göz önüne alınıp incelendiği zaman sonuçlarının vahameti bir kez daha görülmüştür ve zemin sıvılaşmasının önceden tahmin edilmesine büyük bir gereksinim vardır. Son 20 yılda ülkemizde meydana gelen bazı depremlerde de (27 Haziran 1998 Adana-Ceyhan ve 17 Ağustos 1999 Kocaeli) gözlemlendiği üzere zemin sıvılaşması önemli hasarlara neden olmuştur [19]. Son olarak ülkemizde 23 Ekim 2011'de Erciş (Van)'te meydana gelen ve  $M_w=7,2$  olan depremde sıvılaşmanın yıkıcı etkisi bir kez daha gözlemlenmiştir. Ülkemizde yakın tarihte sıvılaşma olayını gözlemlediğimiz deprem ise 21 Temmuz 2017'de Bodrumda meydana gelen  $M_w=6,6$  büyüklüğündeki depremdir.

Niigata depremi sonucunda meydana gelen sıvılaşmanın yapı üzerindeki etkisi Şekil 2.5'te gösterilmiştir.



**Şekil 2.5.** 1964 Niigata Depremi [20]

### **2.3 Sıvılaşma Türleri**

Sebebiyet verdiği deformasyon türleri değerlendirildiğinde iki tip sıvılaşma türünden söz edilmektedir [21].

- Akma türü sıvılaşma
- Devirsel hareketlilik (mobilité)

#### **2.3.1 Akma Sıvılaşması**

Bir zeminin statik kayma gerilmesinin, sıvılaşmış haldeki kayma dayanımından büyük olduğu durumlarda ortaya çıkan duruma akma sıvılaşması denmektedir [21]. Zemin üzerine inşa edilen yapının statik olarak dengede durabilmesi için gerekli olan gerilme statik kayma gerilmesi olarak tanımlanmaktadır. Statik kayma gerilmeleri zeminin kayma direncini öylesine azaltır ki bunun sonucunda akma sıvılaşması meydana gelmektedir ve büyük şekil değişikliklerine sebep olmaktadır. Örneğin bir zemine yeni yapı inşa edilirken ek yük bindirmesi, deprem hareketleri, zemine kazık çakmak gibi fazladan tetikleyici dinamik yüklemeler zeminin taşıma gücü dengesinin bozulmasına sebep olmaktadır. Bu sebeple sıvılaşma türleri arasında en etkili sonuçlar akma sıvılaşmasının sebep olduğu sonuçlardır. Akma sıvılaşmasının karakteristik özellikleri arasında;

- Aniden ortaya çıkması,
- Hızlı ilerlemesi,
- Büyük mesafelerde şekil değişikliğine sebep olması

gösterilebilir [21].

Şekil 2.6’da akma sivilaşmasına örnek olarak Merced Gölü civarından bir görüntü sunulmuştur.



Şekil 2.6. Merced Gölü, 1957 San Francisco [22]

### 2.3.2 Devirsel Hareketlilik

Devirsel hareketlilik akma sivilaşmasının tam tersi şartlar altında oluşan bir olaydır. Statik kayma gerilmesinin, sivilaşan zeminin statik kayma dayanımından küçük olduğu durumlarda ortaya çıkan sivilaşma sonucudur. Devirsel hareketliliğe sebep olan faktörler zeminde meydana gelen statik kayma gerilmesi ve devirsel gerilmelerdir. Bu deformasyonlar meyli az olan yamaçlarda ve su kitlelerine yakın olan zeminlerde meydana gelmektedir ve bu durum yanal yayılma olarak adlandırılmaktadır. Yanal yayılma yapıların bulunduğu bölgelerde meydana gelir ise büyük deformasyonlara sebep olabilmektedir. Devirsel hareketlilik ile ilgili örnekler Şekil 2.7, Şekil 2.8 ve Şekil 2.9’da gösterilmektedir.



**Şekil 2.7.** Van Depremi, 2011 [23]



**Şekil 2.8.** Guatemala Depremi, 1976 [24]

Devirsel hareketlilik türünün içerisinde incelenmekte olan bir sivilaşma türü daha vardır. Bu sivilaşma türü düz yüzey sivilaşmaları olarak nitelendirilir. Yatayda meydana gelen deformasyonlara sebep olacak olan statik yatay kayma gerilmelerinin olmadığı durumlarda deprem sırasında zeminde oluşan dalgalanmalar olarak tanımlanan büyük, aynı zamanda düzensiz lakin kalıcı yatay yer değiştirmeleridir.



Düz yüzey sıvılaşmalarına sebep olan faktör deprem esnasında aşırı boşluk suyu basıncının sönümlenmesi sırasında suyun aşağıdan yukarıya doğru akışı davranışıdır.

Bu tür zemin yenilmelerine sebep olan, depremin sebebiyet verdiği normalden fazla boşluk suyu basıncının sönümlenmesi esnasında zemin suyunun aşağıdan yukarıya doğru hareketidir. Düz yüzey sıvılaşmaları deprem hareketi bittikten uzun bir süre sonra da ortaya çıkabilmektedir. Bu durum hidrolik denge için gerekli olan sürenin uzunluğu veya kısalığı ile ilgilidir. Düşeyde meydana gelen aşırı oturma sonucunda kötü düşük olan zeminin akması ve kum kaynaması olayının meydana gelmesi, bu tür sıvılaşmanın karakteristik özelliğidir [25].



**Şekil 2.9.** Niigata Depremi, 1964 [26]

#### **2.4 Sıvılaşma Potansiyeli Hesabında Kullanılan Yöntemler**

Literatürde, zeminin sıvılaşma potansiyelinin belirlenmesinde kullanılan pek çok arazi ve laboratuvar deneyleri vardır. Laboratuvarda kullanılan yöntem dinamik üç eksenli basınç yönetimidir. Bu yöntem hem çok uzun sürmekte hem de numune alımı esnasında örselenmemiş numune alma işlemi sırasında birçok sorun

çıkabilmesinden dolayı pek tercih edilmemektedir. Bu sebepten dolayı araştırmacılar genel olarak arazi deneylerinden faydalanmayı tercih ederler. Arazide uygulanan deneyler içerisinde;

- Standart Penetrasyon Deneyi (SPT),
- Koni Penetrasyon Deneyi (CPT),
- Beker Penetrasyon Deneyi (BPT),
- Kayma Dalgası hızına ( $V_s$ ) bağlı analiz yöntemleri yer almaktadır.

Bu yöntemler içerisinde ise en fazla Konik Penetrasyon Deneyi (CPT) ile Standart Penetrasyon Deneyi (SPT) tercih edilen deneylerdir. Bu çalışmada ise TBDY 2018'in öngördüğü şekilde SPT verilerine göre sınılaşma analizi gerçekleştirilmiştir. Bununla beraber aşağıda SPT, CPT ve  $V_s$ 'ye göre sınılaşma analizleri sırası ile tanıtılmıştır.

#### **2.4.1 SPT Verilerine Dayalı Sınılaşma Analizi**

Standart penetrasyon deneyi geoteknik amaçlı araştırmalarda tüm dünyada yaygın olarak kullanılan bir arazi deneyi türüdür. SPT deneyinin amacı ince daneli zeminlerin kıvamı, kaba daneli zeminlerin yerleşimindeki sıklılığı ve zeminlerin mukavemetleri ile ilgili bilgi sahibi olmaktır. Aynı zamanda SPT; örselenmiş numuneler üzerinde laboratuvar deneyleri uygulayarak zemin parametrelerini tayin etmekte de kullanılır.

Deney standart bir numune alıcının zemine çakılması işlemidir. Deney Fletcher ve Hanry A. Mohr tarafından, 63,6 kg ağırlığı olan tokmağın numune alıcı kaşığı kullanılarak 76,2 cm'den serbest dūřuře bırakılarak zemine çakılmasıyla penetrasyon deneyini ilk kez standart hale getirmiştir [27]. İlk defa geliştirilmesi ise 1927 senesinde "Raymond Beton Kazık şirketi" tarafından olmuştur. Terzaghi ve Peck ise deneyin halka tanıtılmasını yapmıştır [28]. Numune alıcının uzunluğu 81 cm olmak ile birlikte i çapı 3,5 cm, dış çapı ise 5 cm'dir. akılma işlemi 63,5 kg ağırlığında olan tokmak ile uygulanmaktadır. Bu tokmak 76 cm yükseklikten serbest dūřuře bırakılarak zemine toplamda 45 cm çakılması ile sonuçlanır. Tokmak dakikada ortalama 30 defa dūřürölmektedir. Tokmağın ilk 15 cm'lik girişi deneye

başlangıç seviyesindeki örselenmiş numuneyi temsil ettiği için dikkate alınmaz. Kalan 30 cm'lik giriş için gerekli olan düşüş sayılarının toplamı SPT arazi değeri olarak ifade edilmektedir. Bu değer 'N' harfi ile gösterilir.

Yapılan deneyler sonucunda yararlanılabilir sonuçların elde edilmesi, uygulama esnasında standartların tam olarak uygun olması ile birlikte mümkün olmaktadır. SPT tokmağının düşürülme yöntemi ile tokmağın düştüğü alt başlık, bu deneydeki en önemli değişkendir. Çekicinin serbest düşmesi sonucu teoride meydana çıkan enerjinin çubuklara aktarıldıkları kısmını kontrol ederler. Çekicinin alt başlığa çarpması, düşürülme sisteminin sürtünme ile enerjiyi sönmleyen özellikleri sonucunda varsayılan enerjinin bir kısmı kaybolur. Bu sebeple, serbest düşme sonucunda ortaya çıkan enerjinin tamamı standart olan ucun penetrasyonuna yansımamaktadır.

SPT sonuçlarını etkileyen pek çok önemli kıstas bulunmaktadır. Bu kıstaslar şunlardır;

- Sondaj yöntemleri,
- Sondajın çapı,
- Numune alıcının tabii zemine tam oturamaması,
- Numune alıcının hazne durumu,
- Numune alıcın kaplama içerisinde bulunduğu konumu,
- Tokmağın düşürülme yöntemi,
- Tokmağın düşürülme sıklığı,
- Tij uzunluğu,
- Operatörün deneyimidir.

Tüm bu kıstaslar SPT deneyi sonucunun yorumlanmasını zorlaştırmaktadır. Hatta bu kıstaslar sebebi ile eski verilerin kullanılmasında zorluklar çekilmektedir. Bu sebeple SPT deneyi sonuçlarını etkileyen bu kıstaslara araştırmacılar tarafından öngörülen birtakım düzeltme işlemleri uygulanmaktadır. Ölçülen vuruşlar  $C_i$  gibi sabit olan bir sayıyla çarpılmaktadır.

Düzeltilme faktörleri;

- SPT deneyinin uygulanmasında kullanılan donanıma
- Yer altı su seviyesi (YASS) ve
- Zemin profiline göre belirlenir.

Düzeltilme faktörleri şunlardır:

- Yass
- Tokmak düşürme frekansı ( $C_{BF}$ )
- Jeolojik yük ( $C_N$ )

Bu düzeltmeler sadece yeraltı su seviyesi altında olan suya doymuş ince daneli kum veya siltli kumlarda uygulanır.

$$N = 15 + \frac{N_{arazi} - 15}{2} \quad (1)$$

ifadesi ile bulunmaktadır.

- Numune alıcısındaki kılıf ( $C_S$ )
- Tij boyu ( $C_R$ )
- Sondaj çapı ( $C_B$ )
- Enerji ( $C_E$ )
- Çakma başlığı ( $C_A$ )
- Çakma başlığındaki blok yastık ( $C_C$ )

$N_{ar}$  : Arazide elde edilen SPT-N değeri

$N_{1,60}$  : Düzeltilmiş SPT-N değeri

Gösterimde kullanılan (60) değeri normalize edilmiş enerji oranını, Denklem 1'de elde edilen değer ise, düzeltmelerin yapılmış olduğunu ifade etmektedir. Burada;

$N_{60}$ = Teorik olan serbest düşmeyi ifade etmektedir Standart tokmağın, standart yükseklikten serbest düşüşe bırakılması sonucunda ortaya çıkan enerjinin %60'ını ifade eden değerdir.

$N_{1.60}$ = teorik olan serbest düşme sonucu ortaya çıkan enerjinin %60'ına ve efektif düşey basıncının ise 100 kPa değerine göre düzeltilmiş olan vuruş sayısını ifade etmektedir.

Bu durumda düzeltilmiş N;

$$N_{1.60}=(C_N*C_{BF}*C_E*C_R*C_B*C_S*C_A*C_C)*N_{ar}$$

- $C_N$  = jeolojik yük düzeltmesi,
- $C_E$  =enerji düzeltmesi,
- $C_R$  = tij uzunluğu düzeltmesi,
- $C_B$  =sondaj çapı düzeltmesi,
- $C_S$  =numune alıcı kılıf düzeltmesi,
- $C_A$  =çakma başlığı düzeltmesi,
- $C_{BF}$  =tokmak vuruş sıklığı düzeltmesi,
- $C_C$  =tokmak yastığı düzeltmesi

Şeklindedir [29].

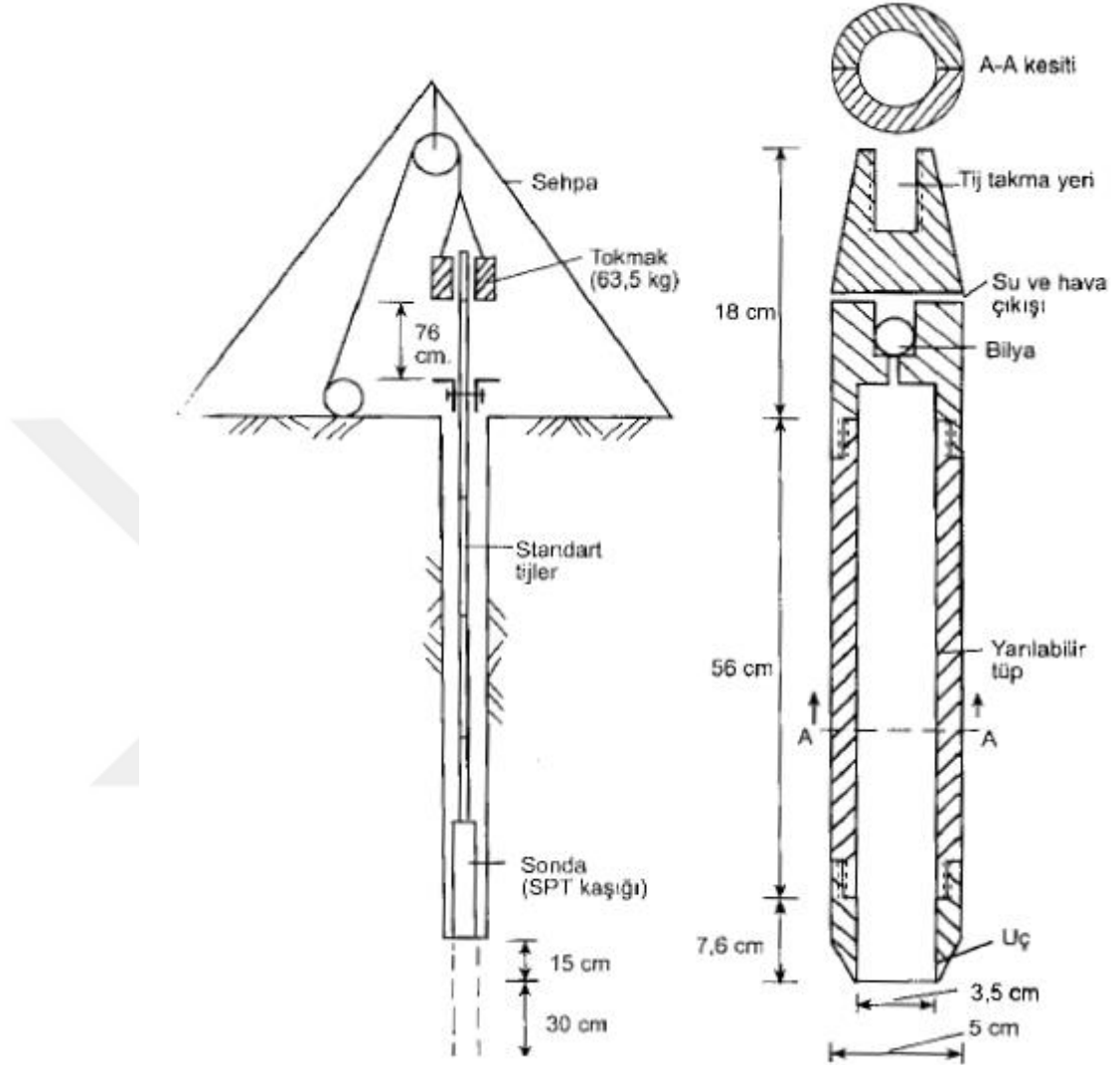
Uygulama esnasında genel olarak enerji düzeltmesi ( $C_E$ ) ve efektif düşey gerilme ( $C_N$ ) düzeltmesi yapılmakta, diğerlerinin etkisi oldukça az olduğundan ihmal edilir düzeyde olarak kabul edilir. Buna göre düzeltilmiş N değerleri şu şekilde ifade edilmektedir;

$$N_{60}=N*C_E$$

$$N_{1.60}=(N*C_E)*C_N$$

Bütün uygulanması gereken düzeltmeler ayrık daneli zeminlerde uygulanmaktadır. Lakin tokmak düşürülüş sıklığı ( $C_{BF}$ ) ve jeolojik yüz düzeltmesi ( $C_N$ ) ince daneli zeminlerde uygulanmamaktadır [29]. Buna istinaden (Farrar,

2001)'de jeolojik yük düzeltmesi yapılmasının derinlik arttığı durumlarda yararlı olacağını ifade etmiştir [30]. SPT şeması ve SPT kaşığı Şekil 2.10'da gösterilmiştir.



Şekil 2.10. SPT Şeması ve SPT Kaşığı [31]

Yapılan araştırmalar sonucuna göre SPT-N düzeltme katsayıları belirli aralıklarda ifade edilmiştir. Genel olarak;

- Sonda çapları 65 mm ile 115 mm aralığında olduğu için,  $C_B = 1,00$  [32],
- Numune alıcının içi kılıfsız olduğu için,  $C_S = 1,20$  [32],
- Deney yapılırken odun blok yastık kullanılmadığı için,  $C_C = 1,00$  [33],

- Halkalı tokmak ile kedi başı 2 sarım bırakılma sistemine ait tokmaklar olduğu için,  $C_E = 0,75$  [34],
- Numune alıcının içi kılıfsız olduğu için,  $C_S = 1,20$ [32],
- Halkalı tokmak ve küçük çakma başlığı kullanıldığı için,  $C_A = 0,85$  [35],
- Tij uzunluğunun değişkenliğine göre,  $C_R = 0,75, 0,85, 0,95, 1,00$  olarak kabul edilmiştir [32].

#### 2.4.1.1 SPT Deneyinden Elde Edilen Sonuçların İrdelenmesi

SPT deneyinden elde edilen sonuçlar kohezyon olmayan zeminlerde taşıma gücünün hesaplanmasında kullanılmaktadır. Aynı zamanda oturma hesabının yapılabilmesi için;

- Drenajsız kayma mukavemeti ( $c_u$ )
- Rölatif sıkılık ( $D_r$ ),
- Hacimsel sıkışma katsayısı ( $m_v$ )
- Serbest basınç ( $q_u$ ) (Bkz. Tablo 2.2),
- Kayma mukavemeti açısı ( $\phi$ ),

Değerleri elde edilir. SPT  $N_{30}$  değeri numune alıcının zemine 30 cm girmesi için gerekli olan vuruş sayısını ifade eden değerdir.

$$D_r, f = f(N)$$

$$q_u, c_u, m_v = f(SPT - N_{30})$$

Ayrıca SPT deneyi ile zeminin sıvılaşma potansiyeli, zemin büyütme değeri ve zeminin kayma dalgası hızı ile ilgili bilgiler elde edilmektedir. Daneli zeminlerde SPT deneyi ile rölatif sıkılık arasındaki bağıntı ise Tablo 2.2’de gösterilmiştir.

**Tablo 2.2.** SPT-N Sayısına Göre Killi Zeminlerin Kıvam ve Kumlu Zeminlerin Sıkılık Derecesi [31]

KİL			KUM		
SPT-N	qu (kPa)	Kıvam	Spt-N	Dr	Sıkılık
<2	<25	çok yumuşak	<4	0.00 - 0.15	çok gevşek
2-4	25 - 50	yumuşak	4 - 10	0.15 - 0.35	gevşek
4 - 8	50 - 100	orta katı	10 - 30	0.35 - 0.65	orta sıkı
8 - 15	100 - 200	katı	30 - 50	0.65 - 0.85	sıkı
15 - 30	200 - 400	çok katı	>50	0.85 - 1.00	çok sıkı
>30	>400	sert			

**Tablo 2.3.** Granüler Zeminlerde Relatif Sıkılık ile Standart Penetrasyon Sayıları Arasındaki Bağını [36]

N Darbe Sayıları	Relatif Sıkılık
0 - 4	Çok gevşek
4 - 10	Gevşek
10 - 30	Orta
30 - 50	Sıkı
50	Çok sıkı

Tablo 2.4'te araştırmacılar tarafından önerilen zemin kıvamına ile diğer parametreler arasındaki bağıntılar gösterilmiştir.



**Tablo 2.4.** Kohezyonsuz zeminlerde bağıl yoğunluk ile diğer parametreler arası ilişki [29]

Zemin Türü	Bağıl Yoğunluk ( $D_r$ )	Parametreler ve Birimleri	Referans
Normal konsolide olmuş kum	$D_r = \sqrt{\frac{N}{1.7 \cdot (10 + \sigma'_v)}} \text{ (bkz. Not)}$	$\sigma'_v$ = efektif düşey gerilim (psi)	Gibbs ve Holtz (1957)
Normal konsolide olmuş silis kumu	$D_r = \left( \frac{N}{0.234\sigma'_v + 16} \right)^{0.5} \text{ (bkz. Not)}$	N=30 cm için SPT darbe sayısı $\sigma'_v$ = Deneysel derinliğindeki efektif düşey (örtü yükü) gerilimi (kN/m <sup>2</sup> )	Meyerhof (1956)
Kaba kum	$D_r = \left( \frac{N}{0.773 \cdot \sigma'_v + 22} \right)^{0.5} \quad \sigma'_v < 75 \text{ kPa}$ $D_r = \left( \frac{N}{0.193 \cdot \sigma'_v + 66} \right)^{0.5} \quad \sigma'_v \geq 75 \text{ kPa}$ (bkz. Not)	$\sigma'_v$ = Deneysel derinliğindeki efektif düşey gerilimi (kN/m <sup>2</sup> )	Peck ve Bazaraa (1969)
Normal konsolide olmuş kum	$D_r = \left( \frac{N_{60}}{a \cdot \sigma'_v + b} \right)^{0.5}$ Eğer kum aşırı konsolide olmuş ise, (b) katsayısı $C_r$ faktörü kadar artırılır: $C_r = \frac{1+K}{1+2K_{enc}}$ Burada; $K_c$ = aşırı konsolide olmuş kumlar için kullanılan efektif yatay gerilimin düşey gerilime oranı $K_{enc}$ = normal konsolide olmuş kumlar için efektif yatay gerilimin düşey gerilime oranı $\approx 1 - \sin \phi$ (bkz. Not)	$N_{60}$ = Teorik en büyük enerjinin % 60 değerinde düzeltilmiş darbe sayısı a = 0.3 (ortalama değer) b = 30 (ortalama değer)	Skempton (1986)
Çakıllı Zeminler	$D_r = 25(N)^{0.57} \cdot (\sigma'_v)^{-0.14}$ (kum için) $D_r = 18(N)^{0.57} \cdot (\sigma'_v)^{-0.14}$ (% 25 oranında Çakıl içeren kum-çakıl karışımı için) $D_r = 25(N)^{0.46} \cdot (\sigma'_v)^{-0.12}$ (% 50 oranında Çakıl içeren kum-çakıl karışımı için) $D_r = 25(N)^{0.46} \cdot (\sigma'_v)^{-0.12}$ (Tüm kumlar için ortalama değer) (bkz. Not)	$\sigma'_v$ = efektif düşey gerilim (kPa)	Yoshida ve Ikemi (1988) (bkz. Şekil 3.4)

Zeminin SPT-N değeri ile kayma mukavemeti arasındaki bağıntılardan bir başkası da şu şekilde ifade edilmektedir;

- Zemin profili içinde %5 oranından daha fazla ince malzeme bulunuyor ise;  
 $f = 25 + 0.15 D_r$  Olarak verilmiştir.
- Zeminde %5 oranından az ince malzeme bulunuyor ise;  
 $f = 30 + 0.15 D_r$  Şeklindedir [37].

Ayrıca, Gibz ve Holtz (1957), Mayerhof (1956), Peck ve Bazaraa (1969) ve Yoshida ve İkemi (1988) tarafından kaba daneli zeminler için SPT-N ile izafi sıklık aralarında verilen ilişkiler Tablo 2.5'te topluca gösterilmiştir [38]

**Tablo 2.5.** SPT Direnci ile Dr arasında korelasyon [38]

Zemin türü	Izafi sıklık (D <sub>r</sub> )	Parametreler ve Birimler	Referans
Normal konsolide kumlar	$D_r = \left( \frac{N_{60}}{1.7(10 + 0.15\sigma'_v)} \right)^{0.5}$	$\sigma'_v$ = Efektif düşey gerilme (kPa)	Gibbs ve Holtz (1957)
Normal konsolide silika kum	$D_r = \left( \frac{N_{60}}{16 + 0.234\sigma'_v} \right)^{0.5}$	$\sigma'_v$ = Deneysel derinliğindeki efektif jeolojik gerilme (kPa)	Meyerhof (1956)
Kaba kumlar	$D_r = \left( \frac{N_{60}}{22 + 0.773\sigma'_v} \right)^{0.5} \quad \sigma_v < 75kPa$ $D_r = \left( \frac{N_{60}}{66 + 0.193\sigma'_v} \right)^{0.5} \quad \sigma_v \geq 75kPa$	$\sigma'_v$ = Deneysel derinliğindeki efektif jeolojik gerilme (kPa)	Peck ve Bazaraa (1969)
Çakıllı zeminler	$D_r = (N_{60})^{0.57} \sigma_v'^{-0.14} \quad (\text{ince kum})$ $D_r = 18(N_{60})^{0.57} \sigma_v'^{-0.14} \quad (\text{Çakıl oranı \%25})$ $D_r = 25(N_{60})^{0.44} \sigma_v'^{-0.13} \quad (\text{Çakıl oranı \%50})$ $D_r = 25(N_{60})^{0.46} \sigma_v'^{-0.12} \quad (\text{Ortalama tüm kumlar})$	$\sigma'_v$ = Efektif düşey gerilme (kPa)	Yoshida ve İkemi (1988)

Yüze yakın tabakalarda oluşan kayma dalgası hızı (Vs) inşaat mühendisliği ve ilgili anabilim dallarında hesaplamalarda kullanılan önemli bir yöntemdir. Zeminlerin dinamik özellikleri arasında yer alan kayma dalgası hızı, zeminin sıvılaşma potansiyelinin tahminin edilmesinde ve zeminin ile ilgili bazı parametrelerin belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Aynı zamanda birçok araştırmacı tarafından SPT direnci ile kayma dalgası hızı arasındaki bağıntılar Tablo 2.6'da topluca gösterilmiştir [39]. Burada  $\sigma'_v$  = efektif

düşey gerilme (kPa), D=derinlik (m), N=SPT-N'nin düzeltilmemiş değeri, r = korelasyon katsayısı, n = veri sayısıdır.

**Tablo 2.6.** Kayma dalgası hızı ile SPT-N arasında korelasyon [39]

Yapılan çalışmalar	Zemin Cinsi	V <sub>s</sub> (m/sn)
İmai ve Yoshizura (1970)	Tüm	$76N^{0.33}$
İmai ve diğ. (1976)	Tüm	$89.8N^{0.341}$ , n = 756
İmai (1977)	Haloson (H) Kil	$102N^{0.29}$
	Haloson (H) Kum	$81N^{0.33}$
	Plastoson (P) Kil	$114N^{0.29}$
	Plastoson (P) Kum	$97N^{0.32}$
Ohta ve Goto (1978)	Kil	$69N^{0.17} D^{0.2} EF_n = 300$ $F = 1.00, E = I(H)$ veya $1.3(P)$
	İnce kum	$F = 1.09, E = I(H)$ veya $1.3(P)$
	Orta kum	$F = 1.07, E = I(H)$ veya $1.3(P)$
	Kaba kum	$F = 1.14, E = I(H)$ veya $1.3(P)$
	Çakıllı kum	$F = 1.14, E = I(H)$ veya $1.3(P)$
	Çakıl	$F = 1.45, E = I(H)$ veya $1.3(P)$
İmai ve Tonouchi (1982)	Tüm	$97N^{0.114}$ , n = 1654, r = 0.868
Okamoto ve diğ.(1989)	Plastoson (P) Kum	$125N^{0.3}$
Iyisan (1966). Aşağı ve karşı kuyu deneyleri yapılmıştır.	Tüm	$51.5N^{0.516}$ , n = 65, r = 0.81
	Tüm	$61N^{0.267} (100_{vo})^{0.281}$ , n = 65, r = 0.83
	Kil (CL)	$47.3N^{0.324} (100_{vo})^{0.27}$ , n = 65, r = 0.90
	Kum (SM)	$54N^{0.33} (100_{vo})^{0.221}$ , n = 65, r = 0.64
	Çakıl (GP, GM)	$205.7N^{0.074} (100_{vo})^{0.133}$ , n = 65, r = 0.53

Terzaghi ve Peck (1967) ve Bowles (1968) tarafından önerilen, SPT direnci ile serbest basınç mukavemeti arasında yer alan çeşitli bağıntılar Tablo 2.7'de gösterilmiştir [28, 40].

**Tablo 2.7.** SPT-N'e göre kohezyonlu zeminlerin kıvamı ile  $q_u$  arasındaki değerler [28, 40]

Zemin Kıvamı	Terzaghi ve Peck (1967)		Bowles (1968)	
	SPT-N <sub>60</sub>	$q_u$ (kPa)	SPT-N <sub>60</sub>	$q_u$ (kPa)
Çok yumuşak	<2	<25	<2	0 - 25
Yumuşak	2 - 4	25 - 50	2 - 4	25 - 50
Orta Katı	4 - 8	50 - 100	4 - 8	50 - 100
Katı	8 - 15	100 - 200	8 - 16	100 - 200
Çok Katı	15 - 30	200 - 400	16 - 32	200 - 400
Sert	>30	>400	>32	>400

Bazı araştırmacılar, zemin profiline bağlı olarak SPT direnci ve serbest basınç mukavemeti ( $q_u$ ) arasında bazı bağıntılar önermişlerdir. Bu bağıntılar Tablo 2.8'de toplu olarak gösterilmektedir [41].

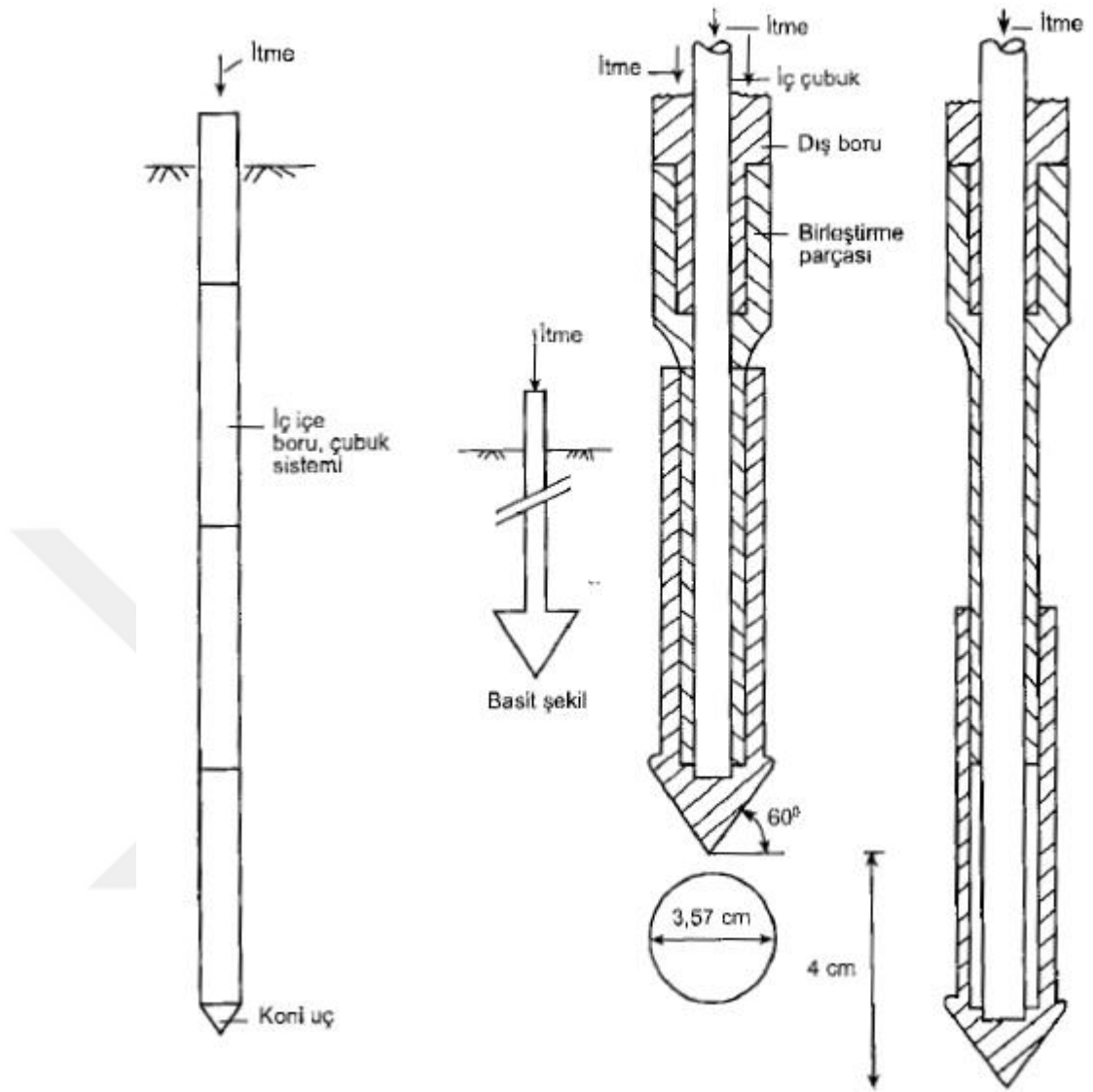
**Tablo 2.8.** Zemin cinslerine göre  $q_u$  ile SPT-N arasındaki ilişkiler [41]

Yapılan Çalışmalar	Zemin Cinsi	$q_u$ (kPa)
Sanglerat (1972) ve Tomlinson (1986)	Kil	25N
	Sildi Kil	20N
Sowers (1979)	Yüksek Plastisiteli Kil	25N
	Orta Plastisiteli Kil	15N
	Düşük Plastisiteli Kil	7.5N
Nixon (1982)	Kil	24N
Kulhaway ve Mayne (1990)	Kohezyonlu zemin	$58N^{0.72}$

#### 2.4.2 Konik Penetrasyon Deneyi (CPT)

CPT arazide uygulanan bir deneydir. 1920 senelerinde Hollanda'da kum zeminlerde uygulanacak olan kazık ebatlarının hesaplanması amacı ile çalışmaya başlanmıştır CPT deneyi 60° bir silindir sonda ve 10 cm<sup>2</sup> kesit alanına sahip konik bir başlığın hidrostatik basınç eşliğinde 20 mm/s sabit bir hız ile zemine itilmesi işlemidir.

CPT deneyi genellikle yumuşak silt, yumuşak kil ve ince-orta kum zemin profillerinde uygulanan bir deneydir. Konik başlığın zemine itilme işlemi esnasında karşılaştığı toplam direnç ( $q_t$ ) ölçülür. Bu toplam direnç ( $q_t$ ), uç direnci ( $q_c$ ) ve çevre sürtünmesi ( $f_s/q_s$ ) bileşenlerinden oluşmaktadır. Ayrıca özel bir donanımla boşluk suyu basıncı da ölçülebilmektedir. CPT deneyi görseli Şekil 2.11'de gösterilmiştir.



Şekil 2.11. Koni Penetrasyon Deneyi [31]

Koni penetrasyon deneyi şunlar hakkında bilgi sahibi olmamızı sağlar;

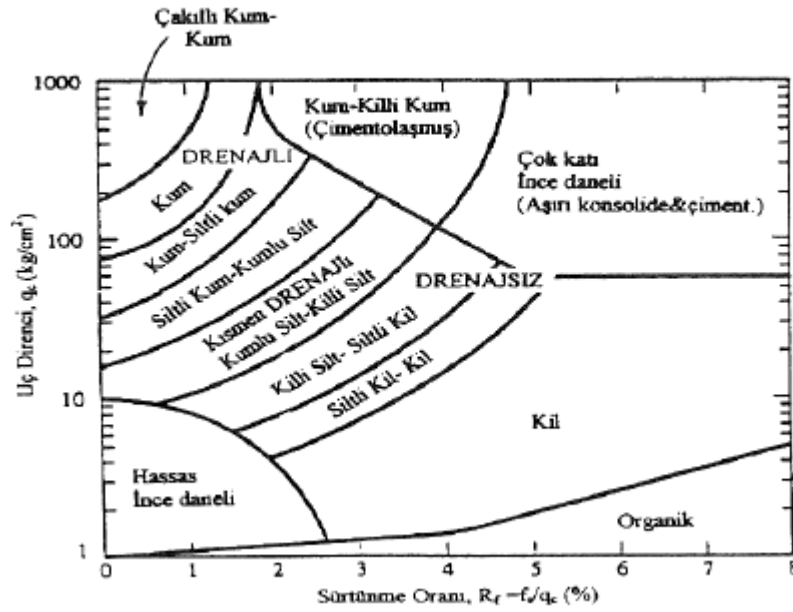
- Tabaka profilleri, zemin cinsi ve tabaka kalınlıkları,
- Kayma mukavemeti açısı ( $\Phi$ ),
- Tabakaların rölatif sıkılığı ( $D_r$ ),
- Drenajsız kayma mukavemeti ( $c_u$ ),
- Taşıma gücü,
- Sıvılaşma hesabı

Gibi birçok geoteknik konuda arazi incelemelerinde kullanılır ve bilgi sahibi olunmasını sağlar.

CPT deneyi hızlı uygulanabilir olmasının yanında kolay uygulanmaktadır. Araştırmacıya devamlı kaydedebilmeyi sunar. SPT deneyinde numune alınırken numunede oluşan örselenme CPT deneyi uygulamasında minimum düzeye inmektedir. CPT ekonomik bir deney olduğu için tekrarlanabilmesi daha kolaydır. Bu avantajlarının yanı sıra bazı dezavantajları vardır. Bunlar; deney esnasında numune alınamadığı için laboratuvar deneyleri yapılamamaktadır. Ayrıca her zemin profiline uygulanamıyor oluşu da başka bir dezavantajdır.

CPT deneyi ilk zamanlarda sondanın zemine itilmesi ile karşılaşılan toplam direnci ölçmekteydi. Gelişen teknoloji ile 1960'lı yıllarda koni arkasına geçirilen sürtünme gömleği ile koninin geçtiği zemin katmanlarının sürtünme dirençleri ölçülür hale gelmiştir. Bu sayede zemin cinsleri CPT deneyi ile daha doğru olarak belirlenmeye başlamıştır. Yakın tarihlerde çalışmalar arttıkça koni içine trans düşer yerleştirilmesi ile koninin geçtiği tabakaların boşluk suyu basınçları ölçülmeye başlanmıştır. CPT deneyi ile ölçülebilen boşluk suyu basıncı CPT deneyi kısaltmasına ön ek olarak P alarak PCPT veya sonuna U eki alarak CPTU şeklinde ifade edilmektedir.

Koni penetrasyon deneyi uygulanırken, penetrometre etrafında boşluk suyu basıncının oluşması sebebi ile düzeltme uygulanmaktadır. Aynı zamanda, zemin katmanları arasında bulunan ince tabakaların mekanik özellikleri tam olarak ölçülmemesi sebebi ile katmanlaşma düzeltmesi uygulanmaktadır. SPT deneyinde uygulandığı gibi, CPT deneyi sonuçlarında da efektif düşey gerilme etkisi olduğu için derinlik (düşey yük) düzeltmesi uygulanmaktadır. CPT deneyinde kullanılan zemin sınıflamaları Şekil 2.12 gösterilmiştir.



Şekil 2.12. CPT zemin sınıflı

Bunun yanında koni penetrasyon deneyi uygulanırken aletin üzerine yerleştirilen çeşitli teçhizatlardan yararlanılarak zeminin elektrik iletkenliği ile kayma dalgası hızı ölçülürken kamera tabakalar içinde ilerledikçe gözlemlenen katmanların eş zamanlı olarak kaydedilmesi (vision cone penetrometer) mümkün olabilmektedir.

İlk yıllarda yüzeyden derinlere inildikçe ölçülen parametreler manometreler yardımı ile gözlemlenmekteydi. Teknoloji gelişip çalışmalar ilerledikçe kablosuz akustik sistemler kurulmuş ve mikroişlemci yardımı ile ses sinyaline çevrilip yüzeye hatasız aktarımı sağlanmıştır. Günümüzde ise radyo dalgaları ile çalışan sistemler kurulmuştur. Bu sistemler koni ucuna yerleştirilen belleklere verileri depolayabilmektedir. Bahsi geçen CPT deneyinde kullanılan donanımları ve uygulama şekli Şekil 2.13'te gösterilmiştir.



**Şekil 2.13.** Akustik CPT ekipmanları

CPT deneyinde killi zeminlerin kıvamı ile drenajsız kayma mukavemeti bulunabilmektedir. Bununla ilgili bağıntı Tablo 2.9’da verilmiştir.

**Tablo 2.9.** Kil Zeminlerde Kıvam – Koni Uç Direnci Bağıntısı [41]

<b>Kil Zeminin Kıvamı</b>	<b>Koni Uç Direnci <math>q_c</math> (MPa)</b>
Çok yumuşak	0.2 – 0.4
Yumuşak	0.4 – 0.6
Orta katı	0.6 – 1.0
Katı	1.0 – 2.0
Çok katı	>2.0

Kohezyonu olmayan zeminlerde koni uç mukavemeti ve rölatif sıklık arasındaki bağıntı Tablo 2.10’da verilmiştir [42].



**Tablo 2.10.** Kohezyonsuz Zeminlerde Rölatif Sıklık - ( $q_c$ ) Bağıntısı [42]

Relatif sıklık	Koni uç direnci $q_c$ (MPa)
Çok gevşek	>2
Gevşek	2 - 4
Orta sıkı	4 - 12
Sıkı	12 - 20
Çok sıkı	>20

Tablolardan anlaşıldığı üzere gevşek zeminlerde uç mukavemette meydana gelen artış derinliğin artmasından az etkilenirken, sıkı zeminlerde derinliğin artması ile uç mukavemette meydana gelen artışta da artma olduğu gözlemlenmektedir [41].

#### 2.4.3. Kayma Dalgası Hızı Yöntemi ( $V_s$ )

Kayma dalgası hızı ( $V_s$ ) yönteminden zeminlerin dinamik davranış özelliklerini belirlemekte faydalanılmaktadır [43]. Kayma dalgası hızı yönteminden, zeminlerin sıvılaşma potansiyeli, zemin büyütmesi, zemin hâkim periyodu, zeminde oluşan gerilmeler ve zeminin deprem özelliklerinin tahmin edilmesinde yararlanılmaktadır [43].

Arazide ölçülen kayma dalgası hızlarına göre Andrus ve Stoke (1991, 2000) sıvılaşma direnci kıstasları geliştirilmiştir [44]. Kayma dalgası hızı ve sıvılaşma direnci birçok faktörden etkilenmektedir. Bu faktörler; boşluk oranı, jeolojik yaş, efektif çevresel basınç ve gerilme tarihçesidir. CPT ve SPT deneylerinin uygulanmasını olası olmayan zemin tiplerinde kayma dalgası hızı yönteminden yararlanılmaktadır. Bu durum araştırmacılara avantaj sağlarken yumuşak kil içeriği fazla olan ve sıvılaşma riski olmayan zemin tiplerinin tanımlanamayışı ve boşluk suyu basıncının yüksek olması kayma dalgası hızı yöntemi ile ilgili dezavantajlı durum oluşturmaktadır. Bu sebep ile uygulama esnasında yeterli sayıda sondaj yapılması ve uygulama alanında arazi deneylerinin yapılması zeminlerin sıvılaşma potansiyelinin araştırılmasında SPT önerilmektedir. Sıvılaşma potansiyeli yüksek olan zeminler (kayma dalgası hızı yüksek çıkabilmektedir) SPT ve CPT deneyi yardımı ile anlaşılmaktadır.

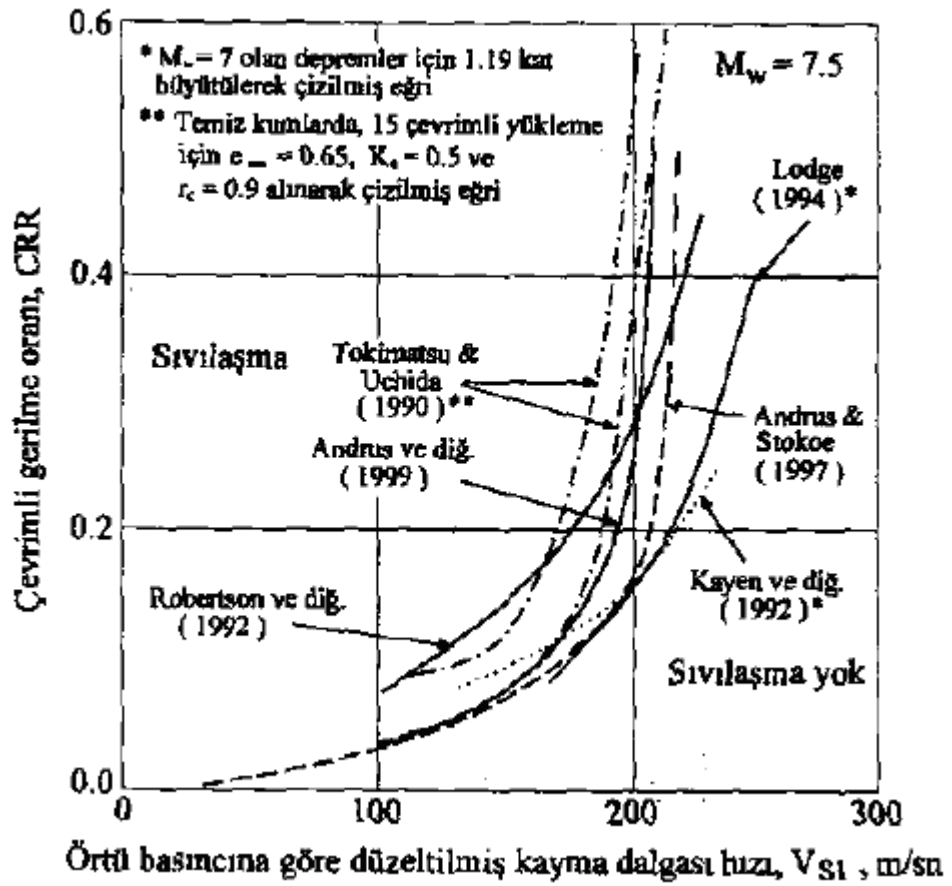
Düzeltilmiş kayma dalgası hızı;

$$V_{S1} = V_S \left( \frac{Pa}{\sigma'_{va}} \right)^{0,25} \quad (2)$$

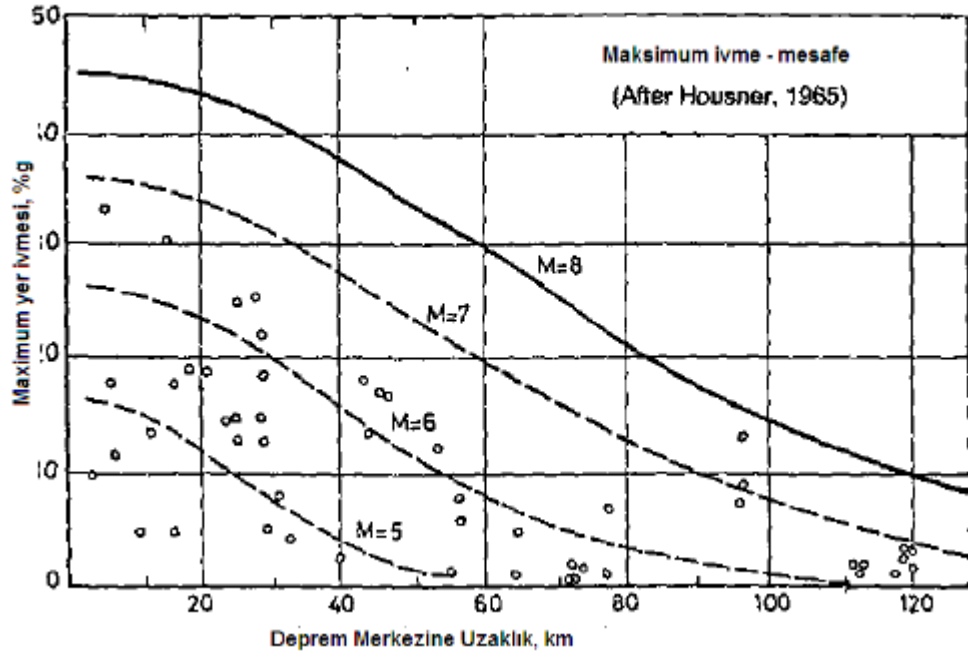
İle bulunur.

Bu değerlere göre zeminin sıvılaşma potansiyeli deprem büyüklüğü 7.5 olan bir deprem için Şekil 2.14'ten alınabilir [45].

Ayrıca maksimum ivme ile deprem noktasına uzaklık arasındaki ilişki Şekil 2.15'te gösterilmiştir.



Şekil 2.14. Sıvılaşma direncinin  $V_s$  ile bulunması [45]



Şekil 2.15. Maksimum ivmesi deprem merkezine olan uzaklık ilişkisi [46]

### **3.MATERYAL VE YÖNTEMLER**

#### **3.1. Sondaj Lokasyonları ve Verileri**

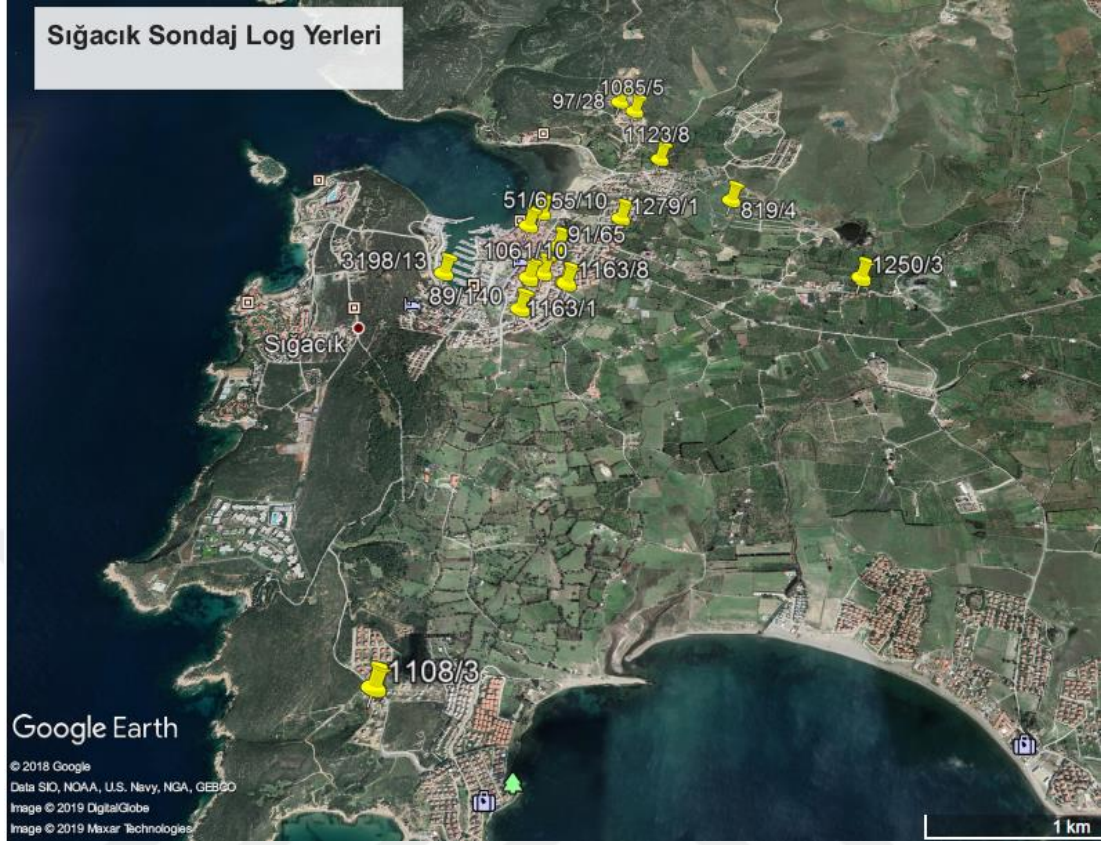
Çalışma kapsamında Seferihisar Belediyesi arşivinden alınan zemin etüdü raporlarından SPT analizi için gerekli olan veriler elde edilmeye çalışılmıştır. İncelemesi yapılan Seferihisar Belediyesi'nden alınmış olan verilerin orijinal raporları sırası ile EK1-18'de sunulmuştur. Elde edilen tüm veriler, raporların içerdiği o döneme ait sınıflama sonuçları ile beraber Tablo 3.1'de gösterilmiştir. Sondajların yapıldığı mevkilerin harita üzerinde gösterimi ise Şekil 3.1'de verilmiştir. Sondajlara ait koordinatlar Tablo 3.2'de ve harita üzerindeki 3 boyutlu gösterimi ise Şekil 3.2'de verilmiştir.

Tablo 3.1 ve Tablo 3.3'te gösterilen veriler DBYBHY esaslarına göre yapılmış analizleri kapsamaktadır. TBDY 2018'e göre analiz ve sonuçları Bölüm 4.2'de verilmiştir.

**Tablo 3.1.** Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen rapor verileri

Semt	Ada-PARSEL	Sondaj Tipi	Derinlik (m)	Yass (m)	Doğal Su İçeriği (Wn)	İnce Malzeme Yüzdesi	Likit Limit (LL)	SPT N <sub>30</sub> (ort.)	Sıvılaşma Riski	FS Oranı*
Sığacık	55-10	SPT	1,95	3	20,5	73,18	32,2	19	YOK	
Sığacık	1250-3	SPT	6,45	Yok	21,2	66	34	-	YOK	
Sığacık	97-28	Karot	-	Yok	-	-	-	Karot	YOK	
Sığacık	1161-1	SPT	3	1	7,1	2,70	NP	6	VAR	0,80
Sığacık	1123-8	SPT	1,95	3	13,3	19,72	25,6	19	YOK	
Sığacık	3198-13	Karot	1,50	Yok	19,9	54,32	40,3	Karot	YOK	
Sığacık	1163-8	SPT	1,95	2,5	19,04	19,42	NP	5	VAR	
Sığacık	819-4	Karot	-	Yok	-	-	-	Karot	YOK	
Sığacık	1108-3	Karot	-	Yok	24,7	78,07	42,2	30	YOK	
Sığacık	1161-10	SPT	1,95	2	19,8	17,2	NP	20	YOK	
Sığacık	91-65	SPT	1,95	1,5	21,3	47,8	45	11	VAR	
Sığacık	51-6	SPT	1,95	0,8	11,8	3,18	NP	17	YOK	2,46
Sığacık	1279-1	SPT	1,95	1	12,9	5,27	NP	14	VAR	0,82
Sığacık	55-1	SPT	1,95	Yok	17,33	76,52	NP	9	YOK	
Sığacık	1085-5	Karot	6	Yok	-	-	-	Karot	YOK	
Sığacık	1163-1	SPT	15	1,90	15,8	37,08	33,8	7	VAR	
Sığacık	89-140	SPT	15	1,90	12,2	4,95	NP	2	VAR	
Sığacık	93-11	SPT	3,45	1,50	8,2	1,54	NP	9	VAR	

\*Mevcut raparlarda DBYBHY'e göre sıvılaşma analizi Tokimatsu ve Yoshimi (1983) kabulüne göre yapılarak Fs değeri hesaplanmıştır [47].



Şekil 3.1. Sondaj Lokasyonları [48]

**Tablo 3.2.** Sondaj Koordinatları ve  $S_{DS}$  Değerleri

<b>ADA-PARSEL</b>	<b>ENLEM</b>	<b>BOYLAM</b>	<b>SDS*</b>
55-10	38.1948	26.7864	1,160
1250-3	38.1904	26.8036	1,165
97-28	38.2027	26.7908	1,317
1161-1	38.1907	26.7866	1,159
1123-8	38.1988	26.7931	1,164
3198-13	38.1907	26.7814	1,305
1163-8	38.1901	26.7879	1,160
819-4	38.1957	26.7970	0,986
1108-3	38.1997	26.7805	1,293
1161-10	38.1903	26.7859	1,159
91-65	38.1925	26.7874	1,161
51-6	38.1939	26.7887	1,161
1279-1	38.1945	26.7868	1,163
55-1	38.1950	26.7862	1,161
1085-5	38.2022	26.7917	0,986
1163-1	38.1902	26.7877	1,160
89-140	38.1885	26.7856	1,159
93-11	38.1924	26.7859	1,159

\*SDS değerleri  $M_w=7.5$  ve DD2 için hesaplanmıştır.



**Şekil 3.2.** Sondaj lokasyonlarının ve ilgili noktalara ait  $S_{DS}$  değerlerinin harita üzerinde gösterimi

Tablo 3.1’de yer alan ada parsellere ait veriler raporlara uygun olarak işlenmiştir. Bir zeminin sıvılaştırılabilir olması için bazı şartların bir arada sağlanması gerekmektedir;

Zemin profillerinin sıvılaştırılabilir zemin profili tanımlamasına uyması gerekmektedir. TBDY 2018’e göre; sıvılaştırılabilir zeminler yeraltı su seviyesinin altında yer alan ve yüzeyden 20 m derinliğe kadar kohezyonsuz veya düşük kohezyonlu ( $PI < 12$ ) zeminler olarak tabir edilen siltli kum, çakıllı kum, kum, plastik olmayan silt ve silt kum karışımları olan zeminlerdir [49].

Bu şartlara göre sıvılaştırılabilir zeminler için azami şartları sağlayan veriler seçilen derinlikler için TBDY 2018 analizlerinde kullanılacakları şekilde Tablo 3.3’te gösterilmiştir.



**Tablo 3.3.** İnceleme alanı kapsamında kullanılacak raporların verileri

Semt	Ada-PARSEL	Sondaj Tipi	Derinlik (m)	Yass (m)	Doğal Su İçeriği (w <sub>n</sub> )	İnce Malzeme Yüzdesi	Likit Limit (LL)	SPT N <sub>30</sub> (ort.)
Sığacık	55/10	SPT	1,95		20,5	73,18	32,2	19
Sığacık	1161/1	SPT	3	2	7,1	2,70	NP	6
Sığacık	1123/8	SPT	1,95	3	13,3	19,72	25,6	19
Sığacık	1163/8	SPT	1,95	2,5	19,04	19,42	NP	-
Sığacık	1161/10	SPT	1,95	2	19,8	17,2	NP	20
Sığacık	91/65	SPT	1,95	1,5	21,3	47,8	45	
Sığacık	51/6	SPT	1,95	0,8	11,8	3,18	NP	17
Sığacık	1279/1	SPT	1,95	1	12,9	5,27	NP	14
Sığacık	1163/1	SPT	15	1,90	15,8	37,08	33,8	7
Sığacık	89/140	SPT	15	1,90	12,2	4,95	NP	2
Sığacık	93/11	SPT	3,45	1,50	8,2	1,54	NP	9

### 3.2.TBDY 2018'e Göre Sıvılaşma Potansiyeli Analizi Yöntemi

Bilindiği üzere 18 Mart 2018 tarihinde resmî gazetede yayımlanan ve 1 Ocak 2019 tarihi itibari ile yürürlüğe giren TBDY 2018'de, Deprem Bölgelerinde Yapılacak Binalar Hakkında Yönetmeliği (DBYBHY 2007) üzerine çeşitli eklemeler yapılmasının yanı sıra kayda değer değişiklikler de yapılmıştır. Bu değişikliklerden bir kısmı SPT deneyi ile sıvılaşma analizinde gerçekleştirilmiştir. TBDY 2018'de sıvılaşma için özellikle bir bölüm oluşturulmuş ve dikkat edilmesi gereken hususlar belirtilmiştir. Bu hususlardan bazıları aşağıda maddeler halinde sunulmuştur.

- “Deprem Tasarım Sınıfı  $DTS=1$ ,  $DTS=1a$ ,  $DTS=2$  ve  $DTS=2a$  olan binalar için  $ZD$ ,  $ZE$  veya  $ZF$  grubuna giren, sürekli bir tabaka veya kalın merccekler halinde bulunan ve 16.6.6’da tanımlanan durumlar dışındaki kumlu zeminlerde sıvılaşma potansiyelinin bulunup bulunmadığının, arazi ve laboratuvar deneylerine dayanan uygun analiz yöntemleri ile incelenmesi ve analiz sonuçlarının ayrıntılı olarak rapor edilmesi zorunludur [49].
- Zemin sıvılaşması, yeraltı su seviyesinin altında yer alan ve yüzeyden 20 m derinliğe kadar olan kohezyonsuz ya da düşük kohezyonlu ( $PI < \%12$ ) zeminlerin deprem sarsıntısı altında, boşluk suyu basıncındaki artışa paralel kayma mukavemeti ve rijitliğindeki önemli oranda azalış olarak tanımlanacaktır [49].
- Zemin sıvılaşmasının değerlendirilmesine yönelik olarak yapılacak zemin araştırma çalışmaları en az, standart penetrasyon deneyi (SPT) ve/veya koni penetrasyon deneyi (CPT)’nin yapımına ek olarak, ilgili zemin tabakalarındaki dane çapı dağılımı, su muhtevası ve Atterberg limit değerlerinin belirlenmesini içerecektir [49].
- Potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminler, yeraltı su tablasının altında yer alan kum, çakıllı kum, siltli killi kum, plastik olmayan silt ve silt-kum karışımları olarak tanımlanacaktır [49].
- Temel altı zeminlerinin potansiyel olarak sıvılaşabilir zeminlerden oluştuğu ve bu zemin tabakalarında düzeltilmiş SPT vuruş sayısının,  $N1,60$ , 30 darbe / 30 cm değerinden küçük olduğu durumlarda zemin sıvılaşması tetiklenme değerlendirmesi yapılacaktır [49].
- Deprem Tasarım Sınıfı ’nın  $DTS = 4$  olduğu ve aynı zamanda aşağıdakilerden en az birinin sağlandığı durumlarda sıvılaşma tetiklenme analizi yapılmayabilir [49]:

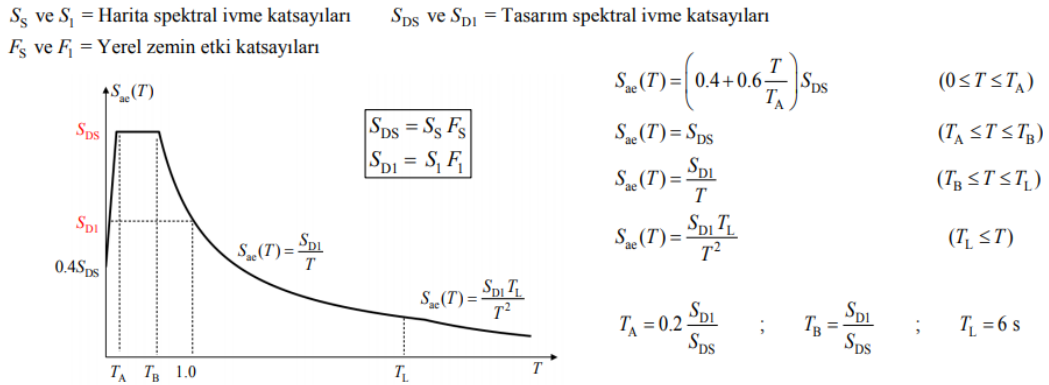
(a) Kil içeriğinin %20’den fazla ve plastisite indisinin %10’dan yüksek olduğu kumlu zeminlerde;

(b) ince dane yüzdesinin %35’ten fazla ve düzeltilmiş SPT vuruş sayısının,  $N1,60$ , 20 vuruş /30 cm’den yüksek olduğu kumlu zeminlerde;

- Zemin sıvılaşması değerlendirmesinde sıvılaşma tetiklenmesi riski yanında, sıvılaşma sonrası zemin mukavemeti ve rijitlik kaybı ile temel zemininde oluşabilecek yer değiştirmelerin dikkate alınması gereklidir [49].”

Zeminlerin sıvılaşma potansiyelini değerlendirmek için kullanılan en yaygın yöntem gerilme esaslı yöntemlerdir. Bu yöntemlerde deprem gibi tekrarlı kayma gerilmeleri ile zeminin sıvılaşmaya karşı tekrarlı kayma direnci kıyaslanmaktadır. Bu kıyaslanmanın sonucunda zeminin sıvılaşmaya karşı direnci belirlenmektedir. Bu yaklaşım ilk olarak Seed ve Idriss (1971) tarafından önerilmiştir [50]. Takip eden yıllarda, özellikle 2000'li yılların başında yapılan çalışmalar ile büyük ölçüde gelişim sağlanmıştır [51]. Bu yöntem günümüzde dünyanın pek çok ülkesinde yaygın olarak kullanılmaktadır. Türkiye'de 2019 yılında yürürlüğe giren yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliği'nde (TBDY) de sıvılaşma analizleri için önerilen bir yöntem olmuştur. TBDY 2018'de sıvılaşma analizinde kullanılan bazı değişiklikler aşağıda sırası ile bahsedilmektedir.

DBYBHY 2007'de deprem tehlikesini tanımlayan temel parametre olan Etkin Yer İvmesi iken TBDY 2018'de bu parametre yerine tasarım ivme spektrumu, kısa periyod ve 1,0 s periyod için AFAD'ın hazırlamış olduğu Deprem Tehlikesi Haritası'nda tanımlanan harita spektral ivme katsayıları ve yerel zemin etki katsayıları getirilmiştir. Bu tasarım spektrumları Şekil 3.3'te gösterilmiştir.



**Şekil 3.3.** Tasarım Spektrumu ve Tanımlayıcı Parametreleri

Seed ve Idriss (1971) tarafından hesap temelleri ortaya atılmış olan, zeminlerin gerilme esaslı sıvılaşma duyarlılığı zamanla çalışmaların artması ile daha da güncellenmiş ve kumların sıvılaşma duyarlılığı pek çok ülkede kabul görmüş ve TBDY 2018 yönetmeliğinde de yerini almıştır [47]. Pek çok ülke tarafından kabul görülen bu yöntemde zeminlerin sıvılaşmaya karşı güvenliği, zeminin tekrarlı direnç

oranının (CRR), zeminde meydana gelen deprem kaynaklı tekrarlı gerilme oranı ile (CSR) karşılaştırılmasıdır. TBDY 2018’de ise bilinen bu yaklaşımda bazı ufak değişikliklere gidilmiştir. Sıvılaşmaya karşı güvenlik koşulu, sıvılaşma direncinin ( $\tau_R$ ) zeminde depremden kaynaklanan ortalama tekrarlı kayma gerilmesinin ( $\tau_{deprem}$ ) oranı olarak tanımlanmış ve bu oranın da 1,1 değerinden küçük olması halinde sıvılaşma riskinin olacağı belirtilmiştir. Denklem 3’te  $\tau_{deprem}$  için kullanılan eşitlik sunulmuştur.

$$\tau_{deprem} = 0,65\sigma_{v0}0,4S_{DS}r_d \quad (3)$$

Bu formülasyonda;  $\sigma_v$  sıvılaşma analizinin yapıldığı derinlikteki (z) toplam gerilmeyi;  $S_{DS}$  AFAD’ın hazırlamış olduğu sismik tehlike haritasından inşaat alanının koordinatları girilerek ve tasarımda seçilen tekrar aralığına göre elde edilebilen kısa periyot tasarım spektral ivme katsayısını ve  $r_d$  de gerilme azalım katsayısıdır. Bu katsayı da Denklem 3’te verilen derinliğe bağlı ifadelerle bağlı olarak belirlenmektedir [52].

$$r_d = \begin{cases} z \leq 9,15 \text{ m} & 1 - 0,00765z \\ 9,15 \text{ m} \leq 23 \text{ m} & 1,174 - 0,0267z \\ 23 \text{ m} \leq 30 \text{ m} & 0,744 - 0,008z \\ z \leq 9,15 \text{ m} & 0,50 \end{cases} \quad (4)$$

Örselenmemiş numuneler üzerinde uygulanan üç eksenli basınç deneyi, tekrarlı burulmalı kesme ile tekrarlı basit kesme gibi laboratuvar deneyleri ile zeminlerin tekrarlı direnç oranları (CRR) belirlenmektedir. Ancak bu deneyler maliyetli ve zaman açısından dezavantajlı olduğu için özel mühendislik yapıları dışında kalan yapılar için zeminlerdeki tekrarlı direnç oranı (CRR) arazi deneyleri sonucuna göre tahmin edilmeye çalışılmaktadır. Türkiye’de diğer yöntemlere göre SPT’ye dayalı sıvılaşma analizinin yapılması birçok açıdan kolaylık sağlamaktadır. Bu sebeple ülkemizde uygulanan yöntemler arasında ise SPT’ye dayalı sıvılaşma analizleri daha çok tercih edilmektedir.

SPT deneyinde arazide ölçülen vuruş sayısı (SPT-N) birçok faktöre bağlıdır. Bu faktörler; tij boyu, sondaj kuyusu çapı, enerji oranı, örtü basıncı ve numune alıcının türüdür. Bu faktörlerden dolayı SPT’ye dayalı hesaplamalarda kullanılacak olan SPT-N değeri düzeltilmelidir. %60 enerji verimliliği ve 100 kPa’lık örtü basıncı

için düzeltilmiş SPT-N değeri;  $(N_1)_{60}$  olarak gösterilmekte ve formülasyonu Denklem 5'ten elde edilmektedir. TBDY 2018'de farklı SPT ekipmanları için önerilen düzeltme faktörleri Tablo 3.4'ten elde edilmektedir. Bununla beraber,  $C_N$  katsayısı için de Denklem 6'daki formülün kullanılması önerilmiştir.

$$(N_1)_{60} = N \cdot C_B \cdot C_E \cdot C_R \cdot C_S \cdot C_N \quad (5)$$

$$C_N = 9,78 \sqrt{\frac{1}{\sigma'_{v0}}} \leq 1,7 \quad (6)$$

**Tablo 3.4.** SPT düzeltme faktörleri [49]

Düzeltilme Katsayısı	Değişken	Değer
$C_R$	3m ile 4m aralığında	0.75
	4m ile 6m aralığında	0.85
	6m ile 10m aralığında	0.95
	10m'den derin	1.00
$C_S$	Standart numune alıcı (iç tüptü olan)	1.00
	İç tüptü olmayan numune alıcı	1.10-1.30
$C_B$	Çap 65mm-115mm arasında	1.00
	Çap 150mm	1.05
	Çap 200mm	1.15
$C_E$	Güvenli tokmak	0.60-1.17
	Halkalı tokmak	0.45-1.00
	Otomatik darbeli tokmak	0.90-1.60

Youd vd. (2001) tarafından ince dane oranı %5'ten az olan kumlar ( $FC \leq \%5$ ) ve  $M_w=7,5$  büyüklüğündeki deprem etkisi altında sıvılaşmanın gözlemlendiği ve gözlemlenmediği bölgeleri ayıran bir eğri oluşturulmuştur [51]. Bu eğri temiz kum eğrisi olarak tanımlanmaktadır. Bu durumda tekrarlı direnç oranı ( $CRR_{7.5}$ ) Denklem 7'de verilmektedir.

$$CRR_{7.5} = \frac{1}{34-(N_1)_{60,f}} + \frac{(N_1)_{60,f}}{135} + \frac{50}{[10.(N_1)_{60,f}+45]^2} - \frac{1}{200} \quad (7)$$

Kum içerisindeki mevcut ince dane miktarı artış gösterdiği zaman zeminin tekrarlı kayma direnci de artmaktadır.  $M_w=7,5$  büyüklüğündeki deprem ve 100 kPa'lık örtü basıncı etkisi altındaki zemin için ince dane oranının %5'ten fazla olduğu durumlarda 100 kPa'lık ve %60 enerji verimliliği için düzeltilmiş SPT-N değerleri;  $(N_1)_{60}$ , Denklem 8'deki formülasyon ile eşdeğer temiz kum değerlerine  $(N_1)_{60,f}$  dönüştürülmektedir.

$$(N_1)_{60,f} = \alpha + \beta(N_1)_{60} \quad (8)$$

Denklem 8'de yer alan  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri ince dane oranına bağlı değişkenlerdir. Formülasyonları Denklem 9 ve 10'da verilmektedir.

$$\alpha = \begin{cases} 0 & ; FC \leq \%5 \\ \exp[1.76 - (190/FC^2)] & ; \%5 < FC < \%35 \\ 5 & ; FC \geq \%35 \end{cases} \quad (9)$$

$$\beta = \begin{cases} 1 & ; FC \leq \%5 \\ 0.99 + \left(\frac{FC^{1.5}}{1000}\right) & ; \%5 < FC < \%35 \\ 1.2 & ; FC \geq \%35 \end{cases} \quad (10)$$

TBDY 2018'de deprem büyüklüğünün  $M_w = 7,5$ 'ten büyük veya küçük olması, kabul edilen örtü basıncının 100 kPa'dan fazla olması ve zeminin deprem yükünden önce başlangıç statik kayma gerilmelerine maruz kalması durumları için, sıvılaşma direnci ( $\tau_R$ ) Denklem 11'deki gibi tanımlanmıştır.

$$\tau_R = CRR_{M7,5} C_M \sigma'_{v0} \quad (11)$$

Denklem 11'de kullanılan verilerden  $C_M$ , deprem magnitudü ( $M_w$ ) düzeltme faktörüdür ve Denklem 11'deki gibi formüle edilmektedir.  $CRR_{M7,5}$  ise yukarıda

Denklem 7’de verilmiştir.  $\sigma'_{v0}$  ise hesap yapılan derinlikteki zeminin efektif gerilmesidir.

$$C_M = \frac{10^{2.24}}{M_W^{2.56}} \quad (12)$$

Bu formülasyon sonucunda Denklem 3 ve Denklem 11’den elde edilen gerilme oranlarına bağlı olarak sıvılaşmaya karşı güvenlik sayısı elde edilir. TBDY 2018’de de bu şekilde yer almaktadır ve Denklem 13’teki gibi formüle edilmektedir. Bu oranın 1,1’den küçük olması durumunda sıvılaşma riski vardır denilmektedir.

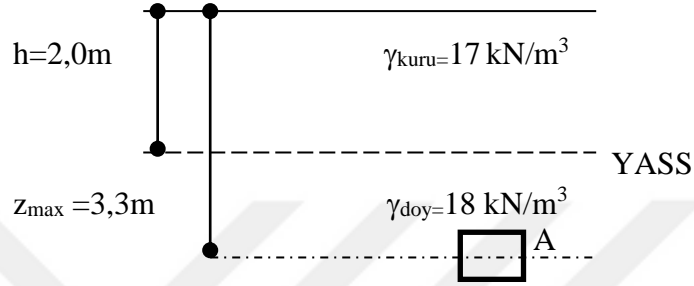
$$FS = \frac{\tau_R}{\tau_{deprem}} \quad (13)$$

### 3.3. TBDY 2018’e Göre Bir Sıvılaşma Analizi Örneği

Hem bu çalışma kapsamında yapılan analizlere örnek teşkil etmesi hem de TBDY 2018’de belirtilen sıvılaşma analizinin bir uygulama ile tanıtılması amaçlanmış ve örnek bir analiz çözümü sunulmuştur. Analiz sırasında kullanılan veriler Seferihisar Belediyesi’nden elde edilen mevcut verilere yakın olacak şekilde seçilmiştir. Aşağıda analiz yöntemi adım adım anlatılmış ve sonucu sunulmuştur. Lokasyonu mevcut olmayan bu sanal örnekte AFAD haritaları kullanılarak elde edilen kısa periyot ivme azaltma katsayısı ( $S_{DS}$ ) bu örnek için 1 olarak kabul edilmiştir. Bu durumda, deprem tasarım sınıfı (DTS) da bina kullanım sınıfını mesken bina olarak düşündüğümüzde  $DTS = 1$  olmaktadır. SPT değerinin de 15’ten küçük olduğu dikkate alındığında zemin sınıfı olarak ZE grubuna girmektedir. TBDY 2018 madde 16.6.1’e göre sıvılaşma analizinin yapılmasının zorunlu olduğu belirtilmektedir. Örnekte deprem büyüklüğü  $M_w = 7,5$  deprem düzeyi (DD) de DD2 olarak alınmıştır. Zemin profili Şekil 3.4’te, zemine ait diğer veriler ise aşağıda Tablo 3.5’te sunulmuştur. Örnek analiz için yeraltı su seviyesi 2,0 m., hesap derinliği ise A noktasında ve 3,3 m. olarak alınmıştır. SPT işlemi sırasında otomatik darbeli tokmak kullanıldığı kabul edilmiştir. TBDY 2018’e göre örnek bir sıvılaşma analizi aşağıdaki zemin profili ve veri tablosu kullanılarak adım adım çözülmüş ve sunulmuştur.

**Tablo 3.5.** Örnek analiz için kabul edilen veriler

SPT-N	Derinlik (m)	Yass (m)	FC (%)	$\gamma_{\text{kuru}}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{\text{doy}}$ (kN/m <sup>3</sup> )
10	3,3	2	25	17	18



**Şekil 3.4.** Örnek analiz için idealize zemin profili

### 1)Zemin Parametrelerinin Düzeltilmesi

Analizde Türkiye’de yaygın olarak kullanılan donanım türüne göre düzeltme katsayıları belirlenmiştir. TBDY 2018 tarafından otomatik darbeli tokmak için önerilen düzeltme faktörleri seçilmiştir [49];

$$C_E \text{ (enerji oranı düzeltme katsayısı)} = 0.90$$

$$C_B \text{ (sondaj kuyusu çapı)} = 1$$

$$C_R \text{ (tij boyu)} = 0.75$$

$$C_S \text{ (numune alıcı düzeltme katsayısı)} = 1$$

$$C_N \text{ (derinlik düzeltme katsayısı)} = \sqrt{95.76 * \frac{1}{\sigma'_v}} \leq 1,7$$

$C_N$  hesabını yapabilmemiz için öncelikle efektif gerilmenin hesaplanması gerekmektedir. Efektif gerilme formülü Denklem 14’te gösterilmektedir. Denklemde yer alan ifadelerden;

$\sigma$  toplam düşey gerilmeyi,

$u$  boşluk suyu basıncını

$\sigma'$  ise efektif gerilmeyi ifade etmektedir.



$$\sigma' = \sigma - u \quad (14)$$

$$\sigma = 17 \cdot 2 + 18 \cdot 1,3 = 57,4 \text{ kN/m}^2$$

$$u = 1,3 \cdot 9,81 = 12,753 \text{ kN/m}^2$$

$$\sigma' = 44,647 \text{ kN/m}^2$$

$$C_N = 1,4645$$

## 2) SPT Değerlerinin Düzeltilmesi

Tüm düzeltme katsayılarının elde edilmesinin ardından araziden elde edilmiş olan SPT-N değeri düzeltme katsayıları ile çarpılarak  $(N_1)_{60}$  ifadesine düzeltilecektir.  $(N_1)_{60}$ 'ın hesabı için denklem 5'te verilmiş olan formül kullanılacaktır.

$$(N_1)_{60} = N \cdot C_N \cdot C_S \cdot C_B \cdot C_R \cdot C_E$$

$$(N_1)_{60} = 10 \cdot 1,4645 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 0,75 \cdot 0,90 = 10$$

Bu aşamada SPT verilerinin ince dane oranına göre düzeltme uygulanması gerekiyor.

İnce dane oranına göre düzeltilen darbe sayısı olan  $(N_1)_{60,f}$  için TBDY 2018'de tanımlanmış olan formülasyon Bölüm 3'te bulunan Denklem 8'de verilmiştir. Denklem 8'de yer alan ince dane oranına bağlı olan değişkenler ise Bölüm 3'teki Denklem 9 ve 10'dan yararlanılarak bulunacaktır.

İnce dane oranımız %25 olarak seçilmiştir. Buna göre Denklem 9 ve 10'a göre sırası ile  $\alpha$  ve  $\beta$  değerleri hesaplanmıştır.

%5 ≤ FC ≤ %35 için;

$$\alpha = [1,76 - (190/FC^2)] \quad \beta = 0,99 + (FC^{1,5}/1000)$$

$$\alpha = 1,456$$

$$\beta = 1,115$$

Olarak hesaplanmıştır. Bu değerler ışığı altında ise Denklem 8'e göre  $(N_1)_{60,f}$  hesaplanmıştır.

$$(N_1)_{60,f} = \alpha + \beta \cdot (N_1)_{60}$$

$$(N_1)_{60,f} = 13$$

### 3)Sıvılaşma Direncinin ( $\tau_R$ ) Hesaplanması

Sıvılaşma direnci olan  $\tau_R$ , moment büyüklüğü 7,5 olan depreme karşı gelen çevrimsel dayanım oranının ( $CRR_{M7,5}$ ), tasarım depremi moment büyüklüğü düzeltme katsayısı ( $C_M$ ) ve efektif düşey gerilme ( $\sigma'_v$ ) ile çarpılması sonucunda elde edilecektir (TBDY, 2018). Sıvılaşma direncinin formülü yukarıda Denklem 7'de verilmiştir.

$$\tau_R = CRR_{M7,5} * C_M * \sigma'_v$$

$$C_M = \frac{10^{2,24}}{M_W^{2,56}}$$

Denklem 7'ye göre;

$$CRR_{M7,5}=0,1356$$

Denklem 12'ye göre;

$$C_M=0,9996$$

Denklem 11'e göre;

$$\tau_R = 6,0273$$

Olarak hesaplanmıştır.

### 4)Zeminde Oluşan Kayma Direncinin ( $\tau_{deprem}$ ) Hesaplanması

Zeminde oluşan kayma direnci formülü TBDY 2018'de tanımlanmış olup Denklem 3'te verilmiştir.

$$\tau_{deprem} = 0,65 * \sigma_{v0} * 0,4 * S_{DS} * r_d$$

Burada  $\sigma_{v0}$  hesaplamasının yapıldığı derinlikteki toplam düşey gerilmeyi,  $r_d$  inceleme yapılan derinlikteki ( $z$ ) gerilme azaltma katsayısını  $S_{DS}$  ise kısa periyot ivme azaltma katsayısını ifade etmektedir. İlgili formüller Denklem 4'te ve Şekil 3.3'te verilmiştir.  $S_{DS}$  İnceleme alanının koordinatları kullanılarak AFAD'ın hazırladığı deprem tehlike haritalarından elde edilen bir veridir. Bu örnekte 1 alınmıştır. Buna göre;

$$r_d = 1 - 0.00765 * z \quad z \leq 9,15m$$

$$r_d = 0,9747$$

$$\sigma_{V0} = 57,4$$

olarak hesaplanmıştır.

$$\tau_{\text{deprem}} = 14,5464 \text{ sonucu elde edilmiştir.}$$

TBDY 2018'de sınılaşmaya karşı güvenlik koşulu ( $F_s$ );  $\frac{\tau_R}{\tau_{\text{deprem}}} \geq 1,10$  olarak tanımlanmıştır. Buna göre;

$$\frac{6,0273}{14,5464} = 0,4138 \text{ elde edilmiştir.}$$

Bu değer 1,10'dan küçük olduğu için sınılaşma riskinin mevcut olduğu sonucu elde edilmiştir.

## 4.BULGULAR

### 4.1. TBDY'ye Göre Sıvılaşma Analizlerinin Sığacık Bölgesine Uygulanması

Bu çalışma, Seferihisar (İzmir) ilçesi yerleşim alanı içinde yer alan alüvyon zeminlerin olası bir deprem etkisi altındaki sıvılaşma potansiyelinin, arazi Standart Penetrasyon Deneyi verileri kullanılarak Yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine göre analiz edilerek incelenmesini içermektedir. Çalışma alanının altından Batı Anadolu Fay Hattı kollarından Seferihisar Yelki fay zonu geçmektedir [7]. Bu olası bir depremde risk oluşturmaktadır. Bu riskin değerlendirilmesi amacıyla Seferihisar ilçesinin yer altı su seviyesi yüksek olan ve deniz kıyısında yer alan Sığacık mahallesindeki Seferihisar Belediyesi tarafından ruhsatlandırılmış yapılardan elde edilen jeolojik veriler incelenmiştir. 18 adet sondaj çalışmasından elde edilen SPT verileri TBDY 2018'e uygun olarak hesaplanmıştır. Bunun sonucunda da bir risk haritası oluşturmak amaçlanmıştır. İnceleme alanındaki tüm noktalar ilk etapta, bölüm 3'te anlatılan sıvılaşma analizinde dikkat edilmesi gereken hususlar gözetilip değerlendirilerek analize tabi tutulmuştur. Farklı deprem büyüklükleri için de analizler gerçekleştirilmiş ve karşılaştırılmıştır. Ardından, tahmini oturma miktarları da hesaplanarak sunulmuştur.

Sıvılaşma analizleri TBDY 2018'de verilen formülasyonlar dikkate alınarak uygulanmıştır. TBDY 2018'e göre SPT' ye dayalı arazi deneyinden elde edilen ve hesaplamalarda kullanılan veriler şu şekildedir;

SPT-N,

İnce dane oranı (FC),

Yass,

Derinlik,

Suya doygun olan birim hacim ağırlık ( $\gamma_{doy}$ )

Kuru olan birim hacim ağırlık ( $\gamma_{kuru}$ )

Belediyeden elde edilen 18 adet rapordan sadece 6 tanesinde TBDY 2018'e göre gerçekleştirilecek sıvılaşma analizi için gerekli olan verilerin tamamı bulunabilmiştir. Kalan 12 raporun 6 tanesinde inceleme derinliği içinde yer altı suyu

bulunmadığı belirtildiği için sıvılaşma analizi yapılmamış olup sıvılaşma riski bulunmamaktadır şeklinde değerlendirilmiştir. Geriye kalan raporlardan ise analiz için gerekli olan verilerin tümü elde edilememiştir. Bu sebeple SPT verisi mevcut olan raporlar arasından zemin özellikleri için çevreye ve SPT değerlerine uyumlu olacak şekilde tahmini değerler kullanılarak bir değerlendirme yapılmış ve buna bağlı harita da elde edilmiştir.

Yukarıda belirtilen bu bilgiler ışığı altında Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen raporlara göre gerekli verileri bulunan lokasyonlarda TBDY 2018'e göre sıvılaşma analizi yapılarak sonuçlar tablolaştırılmıştır ve Tablo 4.1'de gösterilmiştir. Bu tabloya ait harita gösterimi ise Şekil 4.1'de verilmiştir. Şekil 4.1'de harita üzerinde sıvılaşma analizi sonucunda elde edilen güvenlik faktörleri (FS) de belirtilmiştir. İnceleme derinliği (20 m) içinde tanımlı yer altı suyu bulunmayan risksiz bölgelerin verileri Tablo 4.2'de ve yine bu risksiz bölgelerin harita üzerinde gösterimi de Şekil 4.2'de sunulmuştur. Risk içermeyen noktalar için yer altı suyu olmaması sebebi ile analiz yapılmadığından FS'ler sayısal olarak harita üzerinde belirtilmemiştir. Harita üzerinde bu değerler, ilgili noktaların risk taşımadığının ifadesi olarak  $FS > 1,1$  olarak gösterilmiştir.

**Tablo 4.1.** Sıvılaşma analizi sonuç tablosu

Semt	Ada-Parsel	$\gamma_{kuru}$ (gr/cm)	$\gamma_{doy}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	F <sub>c</sub> (%)	Yass (m)	N <sub>30</sub>	Derinlik* (m)	FS
Sığacık	1161-1	1,649	1,956	95,56	1,0	8	3	0,37
Sığacık	51-6	1,695	1,820	10,56	0,8	14	3	0,36
Sığacık	1279-1	1,704	1,899	8,83	1,0	16	3	0,48
Sığacık	1163-1	1,158	1,679	29,64	2,0	5	3	0,31
Sığacık	89-140	1,695	1,905	4,95	2,0	3	3	0,16
Sığacık	93-11	1,741	1,887	1,54	1,5	9	3	0,27

\*Hesaplar için kullanılan veriler ilgili derinliklere göre verilen değerlerdir.

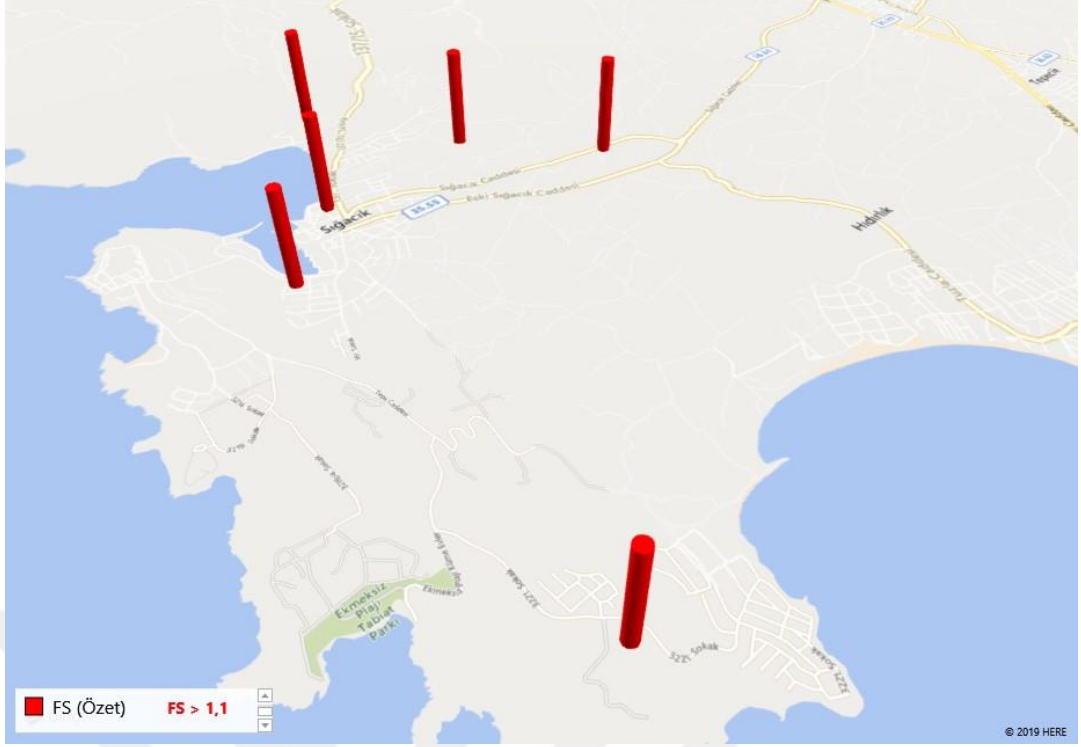


Şekil 4.1. TBODY 2018'e göre sıvılaşma riski olan bölgeler

Tablo 4.2. Sıvılaşma riski bulunmayan bölgelerde elde edilen veriler

Semt	Ada-Parsel	$\gamma_{kuru}$ (gr/cm)	$\gamma_{doy}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	Fc (%)	Yass (m)	N <sub>30</sub>	Derinlik* (m)	FS
Sığacık	55-1	1,600	-	26,63	Yok	-	1,95	>1,1
Sığacık	1250-3	-	-	66,00	Yok	-	6,00	>1,1
Sığacık	97-28	-	-	-	Yok	CR*	-	>1,1
Sığacık	3198-13	1,603	1,933	54,32	Yok	CR*	1,50	>1,1
Sığacık	819-4	-	-	-	Yok	CR*	3,00	>1,1
Sığacık	1108-3	1,571	1,966	78,07	Yok	30	1,50	>1,1

\* Karot



**Şekil 4.2.** Risksiz bölgelerin haritalandırılması

Verilerinin tamamı TBDY 2018'e göre analiz için mevcut olmayan raporlarda SPT değerleri mevcut olanların arasından seçilip çevreye ve zemin türüne göre tahmini birim hacim ağırlık değerleri kullanılarak oluşturulan tahmini sınıvlaşma analizi sonuçları ise Tablo 4.3'te ve buna bağlı olarak tahmini sınıvlaşma haritası da Şekil 4.3'te gösterilmektedir. Bu harita üzerinde de yine hesap edilen her noktaya ait FS değerleri belirtilmiştir.

**Tablo 4.3.** Tahmini verilerle yapılan sıvılaşma analizi sonuç tablosu

Semt	Ada-Parsel	$\gamma_{kuru}$ (gr/cm)	$\gamma_{doy}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	F <sub>C</sub> (%)	Yass (m)	N <sub>30</sub>	Derinlik* (m)	FS
Sığacık	1163-8	1,780	1,990	19,42	2,5	5	4,2	0,26
Sığacık	55-10	1,700	1,810	50,00	3,0	22	4,5	0,97
Sığacık	1123-8	1,700	1,810	15,00	3,0	20	4,5	0,61
Sığacık	1161-10	1,649	1,956	15,00	2,0	21	3,0	0,83
Sığacık	91-65	1,740	1,885	35,00	1,5	11	3,0	0,49

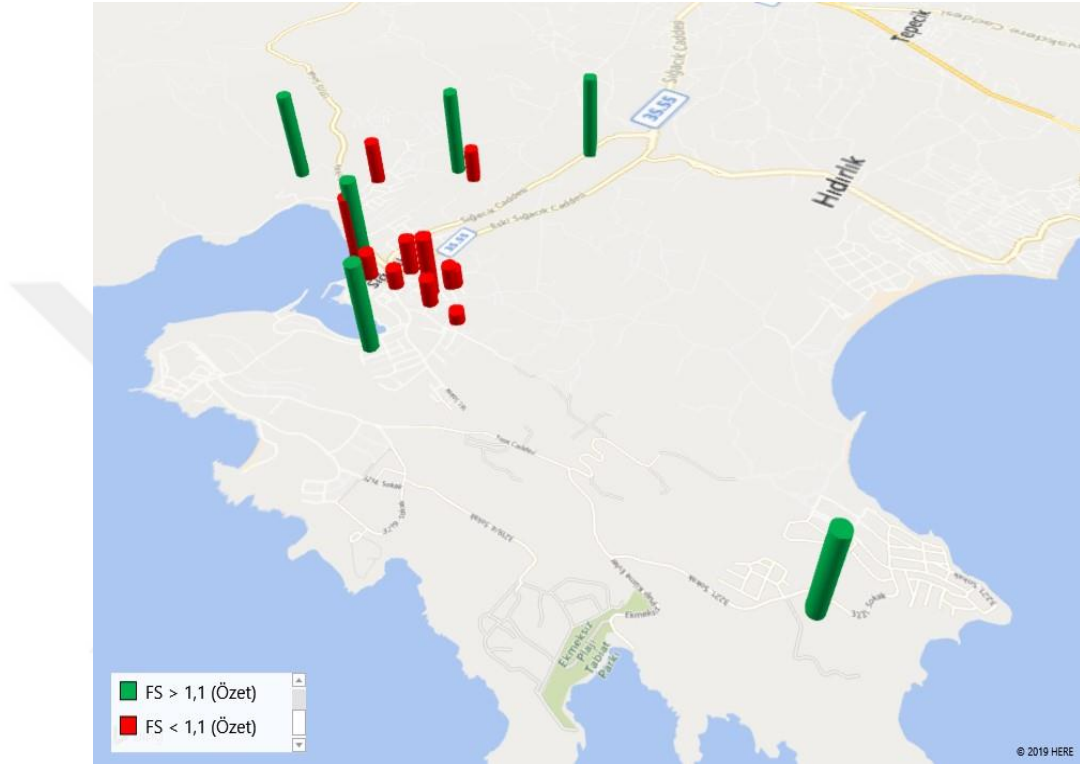


**Şekil 4.3.** Tahmini verilere göre sıvılaşma analizinde riskli çıkan bölgeler

Değerlendirmelerin tümüne ait harita ise Şekil 4.4'te sunulmuştur. Bu haritada yeşil renkler risk bulunmayan bölgeyi ( $FS > 1,1$ ) ifade ederken, kırmızı renkler riskli bölgeleri ( $FS < 1,1$ ) ifade etmektedir. Bu haritaya (Şekil 4.4) bakıldığında birbirlerine çok yakın olmalarına rağmen birinde sıvılaşma riski bulunurken diğerinde bulunmayan noktalar olduğu görülmektedir. Sıvılaşma riski bulunmayan noktaların bu sonuca sadece ve sadece tespit edilmemiş yeraltı suyu seviyesi sebebi ile ulaştığı düşünüldüğünde, ilgili noktalarda gerçekleştirilmiş olan yeraltı suyu tespiti güvenilirliğini yitirmektedir. Pratikte birbirine bu denli yakın



noktaların yer altı su seviyelerinde, ilgili raporlarda bahsi geçen kadar fark olmaması beklenmektedir. Dolayısı ile, kontrollü yapılacak tekrar ölçümlerde bu noktalarda bir yeraltı su seviyesi saptanması durumunda buradaki bazı noktaların da sıvılaşabileceği göz önüne alınmalıdır.



**Şekil 4.4.** Tüm verilerden elde edilen sonuçların haritalandırılması

Bu çalışmada, yukarıda belirtilen çalışmalara ek olarak, farklı büyüklükteki depremlerin etkisi altında sıvılaşma analizleri de gerçekleştirilmiştir. İnceleme alanındaki jeolojik ve jeofizik değerlendirmeler sonucunda bölgede meydana gelmiş ve beklenen olası depremler bu tezin 2. bölümü olan genel bilgiler bölümünde anlatılmıştır. Bu ön bilgilere dayanarak, bölgede beklenen farklı depremlere göre deprem senaryoları düşünülmüş ve sıvılaşma analizleri bu farklı deprem senaryolarına göre çeşitlendirilmiştir. Bu senaryoların ilki yukarıda sunulan DD2 deprem düzeyinde ve 7,5 büyüklüğündeki deprem olasılığı içindir (1. Senaryo). Bu hesabı takiben, hem DD3 deprem düzeyi ve 7 büyüklüğündeki deprem (2. Senaryo) hem de DD4 deprem düzeyi ve 6,5 büyüklüğündeki deprem (3. Senaryo) için

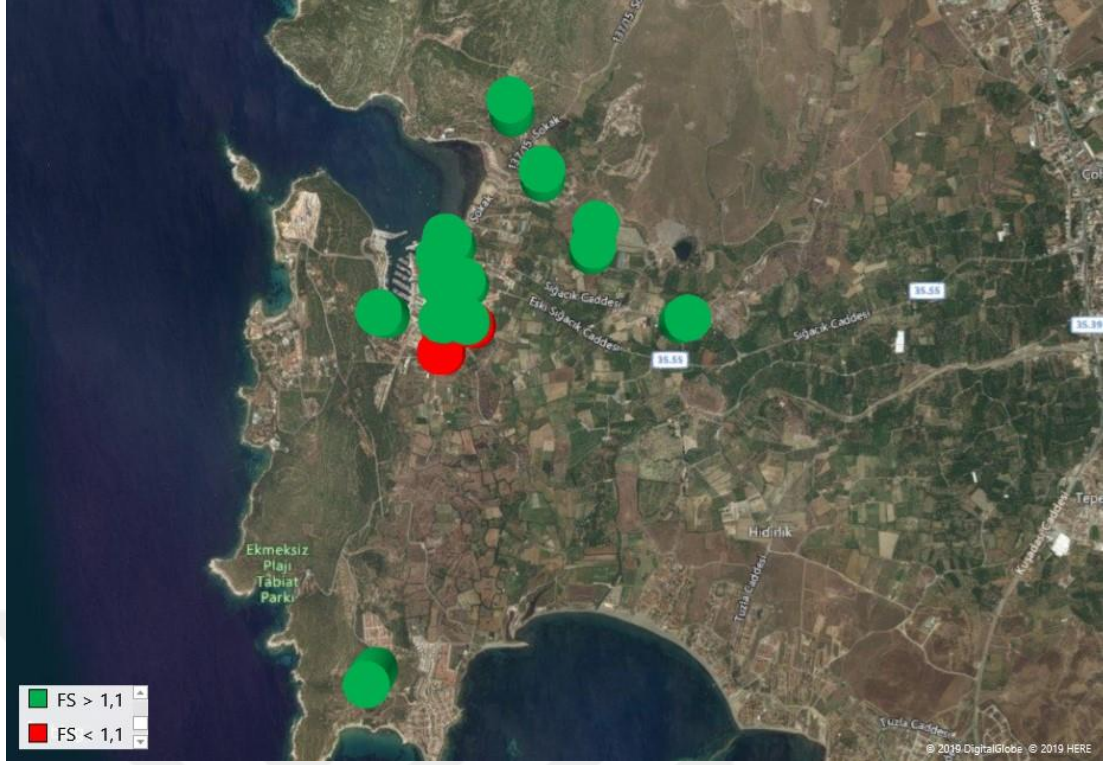
sıvılaşıma analizleri gerçekleştirilmiştir. Aşağıda Tablo 4.4'te elde edilen verilere göre yapılan hesaplamalarda farklı deprem senaryoları için FS değerleri sunulmuştur.

**Tablo 4.4.** Farklı deprem senaryolarında gerçekleştirilen sıvılaşıma analizine ait güvenlik katsayıları (FS)

ADA - PARSEL	1. Senaryo (FS) DD2-M <sub>w(7,5)</sub>	2. Senaryo (FS) DD3-M <sub>w(7)</sub>	3. Senaryo (FS) DD4-M <sub>w(6,5)</sub>
1161/1	0,37	1,18	1,64
51/6	0,36	1,17	1,62
1279/1	0,48	1,53	2,13
1163/1	0,31	1,22	1,70
89/140	0,16	0,73	1,01
93/11	0,27	1,23	1,71
1163/8	0,26	1,02	1,41
55/10	0,97	3,93	5,44
1123/8	0,61	2,48	3,36
1161/10	0,83	3,62	5,02
91/65	0,49	1,83	2,53

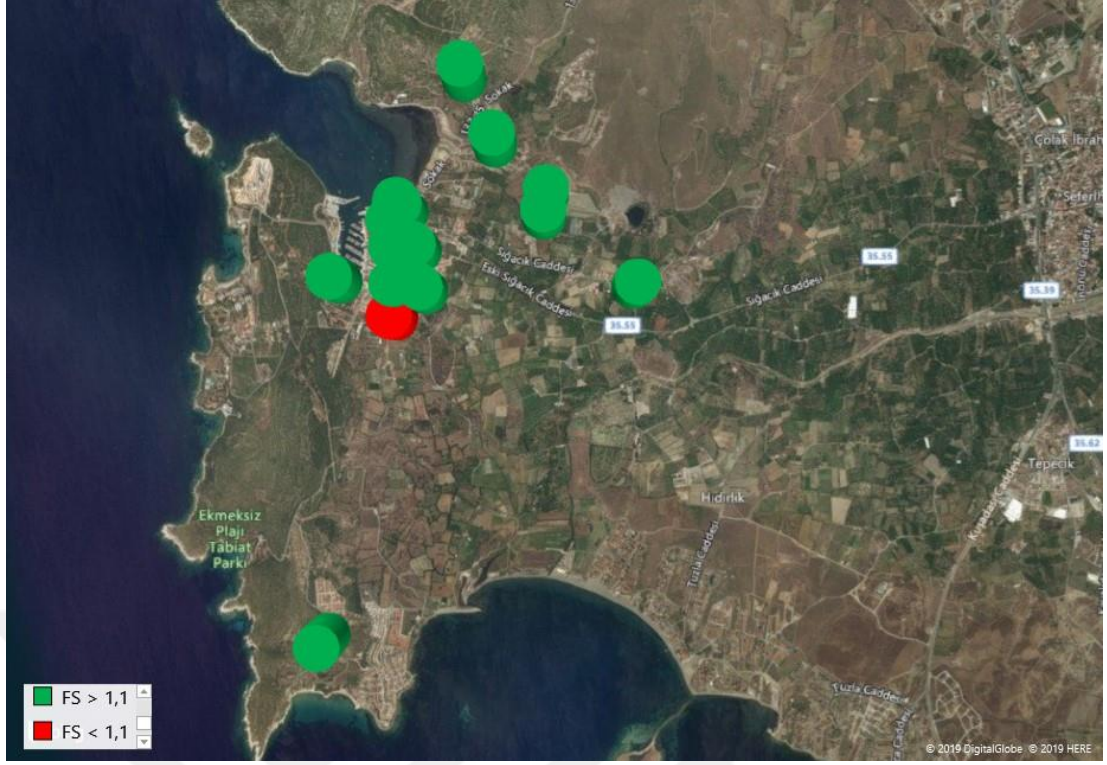
Yukarıdaki hesaplamalardan elde edilen sonuçlardan her bir deprem senaryosuna göre riskli bölgeler tespit edilmiş ve uydu görüntüsü üzerine işlenmiştir. Bu haritalarda yeşil renkler riskiz bölgeleri (FS > 1,1), kırmızı renkler ise riskli bölgeleri (FS < 1,1) ifade etmektedir. 1. Senaryoya ait harita üzerinde gösterim Şekil 4.5'te; 2. Senaryoya ait harita üzerinde gösterim Şekil 4.6'da ve son olarak 3. Senaryoya ait harita üzerinde gösterim Şekil 4.7'de sunulmuştur.





**Şekil 4.6.** İnceleme alanı verilerine ait 2. Senaryoya (DD3 ve Mw=7) göre sıvılaşma risk haritası

Çalışma bölgesindeki 2. Senaryoya göre yapılan değerlendirmelere göre toplam 17 noktanın 2'sinde sıvılaşma riski tespit edilmiş diğer 15 nokta ise sıvılaşma açısından risksiz olarak değerlendirilmiştir. Diğer bir deyişle ilgili bölgede yapılan hesapların %12'sinde sıvılaşma riski bulunduğu tespit edilmiştir. Aynı bölgedeki 3. Senaryoya göre ise sadece 1 noktada sıvılaşma riski tespit edilmiş olup bölge 3. Senaryoya göre %94 oranında güvenli olarak belirlenmiştir. Deprem büyüklüğünün azalması ile sıvılaşma riskinin de azalması beklenen bir sonuçtur. Bununla beraber, çalışma alanının, yaşanabilecek olası bir 7,5 büyüklüğündeki deprem göz önüne alındığında oldukça büyük bir risk içerdiği görülmektedir.



**Şekil 4.7.** İnceleme alanı verilerine ait 3. Senaryoya (DD4 ve  $M_w=6,5$ ) göre sıvılaşma risk haritası

#### 4.2.TBDY Yönteminin NCEER ile Karşılaştırılması

Dünya üzerinde sıvılaşma analizi için en çok tercih edilen yöntemlerden biri Seed ve Idriss'in (1971) basitleştirilmiş sıvılaşma analizi referans alınarak yıllar içinde geliştirilerek 1996'da bir çalışma grubu (NCEER) tarafından önerilen yöntemdir. Bu yöntem 1996'yı takiben 1998 çalıştay ile şekillenmiş ve 2001 yılında da günümüzde kullanılan haline bürünmüştür [53]. TBDY 2018 de hesap aşamalarını tanımlarken NCEER grubunun yöntemini benimsemiş ve birkaç değişiklik ile sunmuştur. Bu çalışmadaki amaç da inceleme alanı kapsamında TBDY 2018'e göre sıvılaşma hesabı yapılan bölgelerin, dünya çapında yaygın olarak kullanılan ve NCEER çalışma grubu tarafından önerilen Youd ve Idriss (2001) tarafından tekrar özetlenen bağıntı ile tekrar hesaplanarak kıyaslanmasıdır [53]. Hesaplamalarda karşılaştırma için 1. Senaryo,  $M_w=7,5$  ve DD2 kabul edilmiştir. Analizler sonucunda elde edilen güvenlik katsayıları ise Tablo 4.5'te gösterilmektedir.

**Tablo 4.5.** TBDY 2018 ve NCEER yöntemlerinden hesaplanan güvenlik katsayıları

<b>ADA-PARSEL</b>	<b>TBDY 2018</b>	<b>NCEER</b>
1161/1	0,37	0,38
51/6	0,36	0,39
1279/1	0,48	0,46
1163/1	0,31	0,33
89/140	0,16	0,17
93/11	0,27	0,28
1163/8	0,26	0,27
55/10	0,97	1,02
1123/8	0,61	0,63
1161/10	0,83	0,86
91/65	0,49	0,53

Hesap yapılan tüm noktalarda TBDY 2018 ile edilen güvenlik katsayılarının, NCEER yöntemi ile elde edilen güvenlik katsayılarından daha küçük olduğu görülmektedir. Elde edilen güvenlik katsayılarına göre TBDY 2018’de önerilen sınılaşma analizi yönteminde daha küçük güvenlik katsayıları elde edilmesi sebebi ile TBDY 2018 yönteminin, NCEER yöntemine göre daha güvenli tarafta kaldığı görülmektedir.

### **4.3 Sınılaşma Kaynaklı Oturma Analizleri**

Yer altı su seviyesi altında yer alan;

- Plastik olmayan kum zeminlerde,
- Düşük plastisiteli silt zeminlerde

sınılaşma olayı ile birlikte zeminde büyük deformasyonlar meydana gelmektedir. Bu deformasyonlar sınılaşabilir zeminlerin üzerinde yer alan yapılara da yansıyor yapılarda da büyük deformasyonlara yol açmaktadır.

Bu çalışmada inceleme alanı kapsamında sıvılaşmaya bağlı zemin oturmalarının belirlenmesi de amaçlanmıştır. Oturma hesabı için Ishihara ve Yoshimine (1992) [54] ve Çetin (2009) [55] olmak üzere iki yöntemden yararlanılmıştır. Ishihara ve Yoshimine (1992) yöntemi sıvılaşma kaynaklı oturmaların değerlendirilmesinde en çok bilinen ve kullanılan yöntemlerden biridir. Çetin (2009) yöntemi ise Ishihara ve Yoshimine (1992) yönteminden farklı olarak tabaka derinliklerine bağlı olarak derinliğe göre etkisi azalan bir “ağırlık faktörü” kavramı içermesi ile bilinmektedir. Bahsi geçen bu faktör, yüzey tabakalarının daha erken sıvılaşması ile derinlere iletilen kayma gerilmeleri ve çevrim sayılarındaki azalma ile ilişkilendirilmektedir [55]. Her iki yöntem de sıvılaşan tabaka kalınlıklarının bir abak vasıtası ile bulunacak bir hacim birim deformasyon katsayısı ( $\varepsilon_v$ ) ile çarpımı ilkesine dayanmaktadır. Bu çalışma kapsamında Ishihara ve Yoshimine (1992) ve Çetin (2009)’a göre gerçekleştirilen hesaplamalar için yararlanılan abaklar sırası ile Şekil 4.8 ve Şekil 4.9’da sunulmuştur.

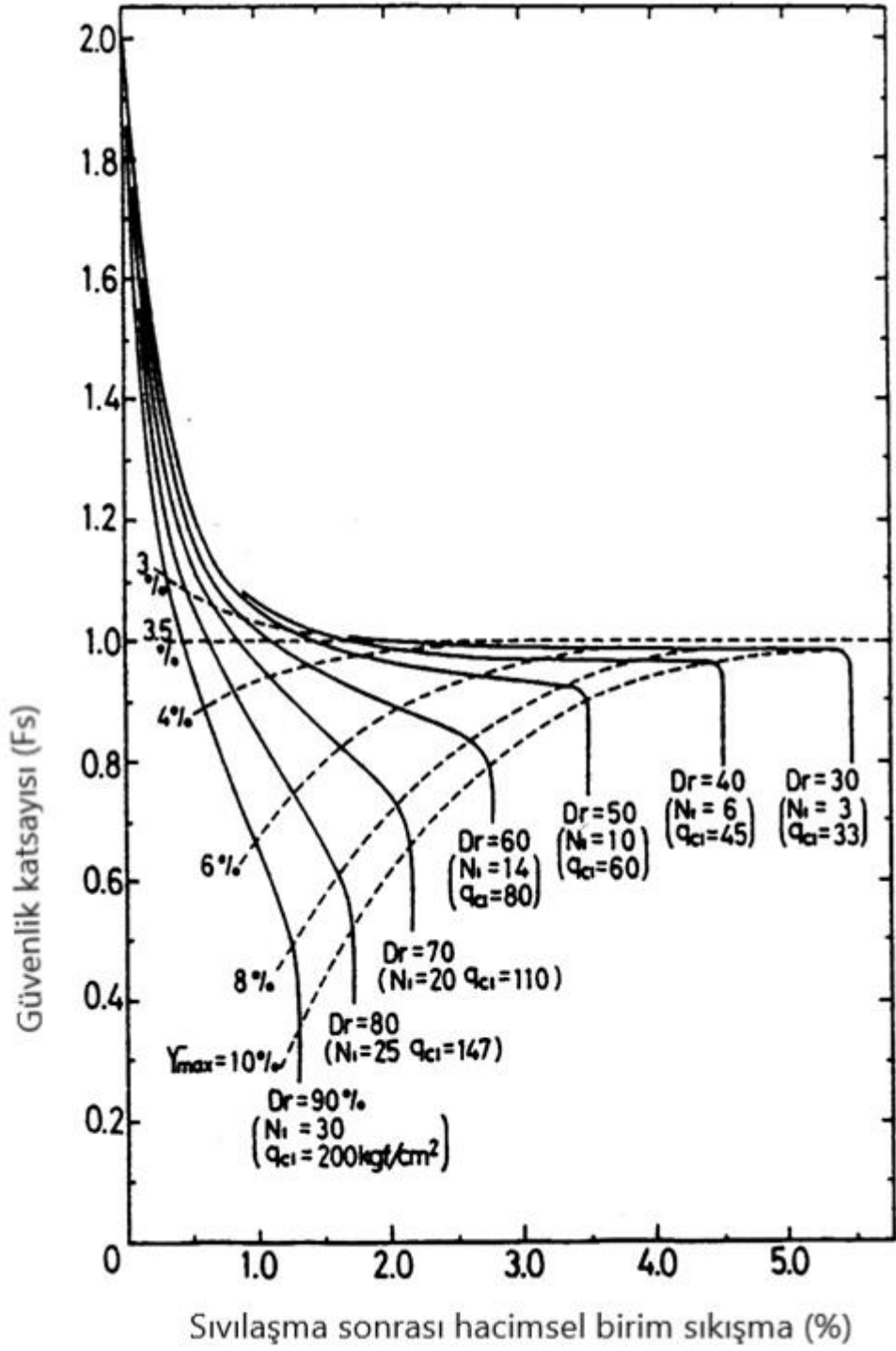
Ishihara ve Yoshimine (1992) yönteminde sıvılaşma analizi sonucunda elde edilen  $F_s$  güvenlik faktörünün SPT değerleri ile abak üzerinde karşılaştırılıp hacimsel birim deformasyon değerlerine ulaşılması hedeflenmektedir. Bununla beraber Çetin (2009) yönteminde  $N_{1,60}$  ve 1 atm efektif gerilme altında konsolide edilip, tek boyutlu olarak 20 çevrimin uygulandığı basit kesme deneyine ait tekrarlı gerilme oranı ( $CSR_{SS,20,1-D,1atm}$ ) değerleri abak üzerinde karşılaştırılıp hacimsel birim deformasyon değerlerine ulaşılmaktadır. Arazi değerlerinden elde edilen tekrarlı kayma gerilme oranının ( $CSR_{saha}$ ), abakta kullanılacak  $CSR_{SS,20,1-D,1atm}$  eşdeğerine çevrilmesi gerekmektedir [55]. Bu dönüşüm aşağıda Denklem 15-18’de sunulmuştur. Denklem 15’te önerilen düzeltmeler, saha koşullarındaki çok yönlü yükleme ( $K_{md}$ ), farklı deprem büyüklükleri ( $K_{Mw}$ ) ve farklı düşey efektif gerilme değerlerinin ( $K_\sigma$ ) etkilerini göz önünde bulundurmaktadır. Bu denklemlerde;  $D_R$  rölatif sıklığı,  $M_w$  deprem magnitudünü,  $P_a$  da atmosfer basıncını temsil etmektedir.

$$CSR_{SS,20,1-D,1atm} = \frac{CSR_{saha}}{K_{md}K_{Mw}K_\sigma} \quad (15)$$

$$K_{md} = 0,361 \ln(D_R) - 0,579 \quad (16)$$

$$K_{Mw} = \frac{87,1}{M_w^{2,217}} \quad (17)$$

$$K_{\sigma} = \left( \frac{\sigma'_{v,0}}{P_a} \right)^{f-1} \quad \text{ve } f = 1 - 0,005D_R \quad (18)$$



Şekil 4.8. Ishihara ve Yoshimine, 1992 tarafından oluşturulan abak [54]

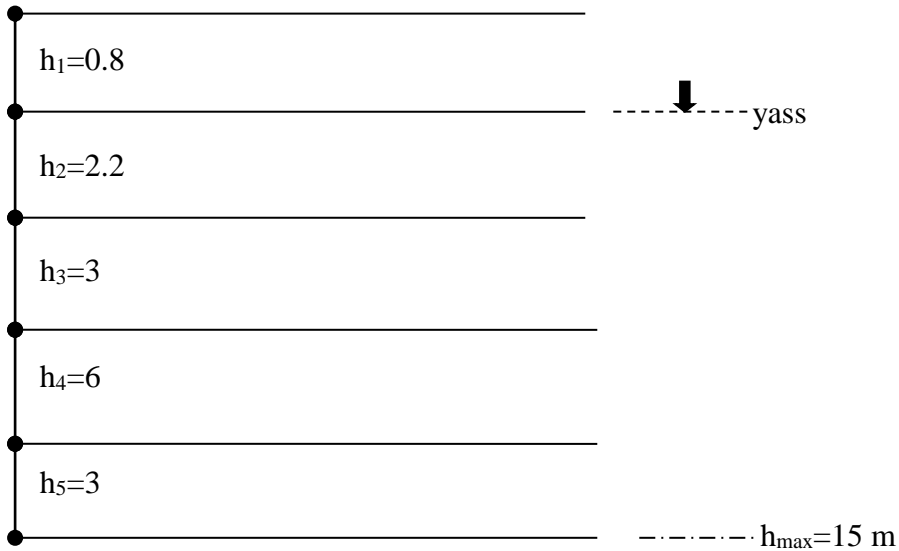




hesabında Tablo 2.4'te sunulmuş olan bağıntılardan biri olan Denklem 19'da verilen bağıntıdan yararlanılmıştır.

$$Dr = \sqrt{\frac{N_{60}}{a \cdot \sigma_v' + b}} \quad a = 0,3 \text{ ve } b = 30 \text{ (ortalama değerler)} \quad (19)$$

Bu çalışmadaki oturma hesapları yukarıdaki analizlerden 1. Senaryoya ait olan güvenlik katsayıları kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Bu durum, en olumsuz koşulu kapsamaktadır. Hesapların gerçekleştirilmesi esnasında çeşitli engeller ile karşılaşmıştır. Bu engeller Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen ve eklerde de sunulan raporlardaki verilerin yetersizliğinden meydana gelmektedir. Bu sebeple inceleme alanı kapsamında sadece bazı noktalarda tüm tabakalar için oturma analizi yapılabilmektedir. Ada-parcel nosu 51-6 olan örneğe ait idealize zemin profili Şekil 4.10'da sunulmuştur. Yeraltı su seviyesi 0,8 m.'de olup sıvılaşmanın görüldüğü ve güvenlik faktörlerinin hesaplanmış olduğu 4 tabakası idealize edilmiş şekilde sunulmuştur. Altta ise örneğe ait veriler ve her iki oturma yöntemine göre oturma miktarları ( $\delta$ ) Tablo 4.6'da sunulmuştur.



Şekil 4.10. 51-6 Ada-Parcel örneğine ait idealize zemin profili

**Tablo 4.6.** 51-6 Ada-Parsel örneğine ait veriler ve oturma miktarları

<b>SPT N</b>	<b>Derinlik (m)</b>	<b>YASS (m)</b>	<b>FC (%)</b>	$\gamma_{kuru}$	$\gamma_{doy}$	<b>FS</b>	<b><math>\delta_{ishihara}</math> (cm)</b>	<b><math>\delta_{çetin}</math> (cm)</b>
14	3	0.8	10,56	1,695	1,682	0,37	7,8	6,6
17	6	0.8	7,36	1,647	1,843	0,34	7,8	7,5
16	12	0.8	9,14	1,671	1,813	0,46	10,2	9,6
22	15	0.8	9,36	1,665	1,865	0,53	6,15	6,0
Toplam							31,95	29,7

Tablo 4.6'daki sonuçlara göre 7,5 büyüklüğündeki bir deprem etkisi altında 51-6 ada-parsel örneğinde 15 m. derinlikte sunulan veriler kullanılarak tahmin edilen oturma miktarları ortalama 30 cm civarındadır. Çetin (2009) yönteminden elde edilen oturma miktarları teoride de sunulduğu gibi Ishihara ve Yoshimine (1992) yönteminden daha küçük bulunmuştur.

Tüm veriler kullanılarak elde edilen tahmini oturma sonuçları ise Tablo 4.7'de sunulmuştur. Tahmini oturma miktarları Ishihara ve Yoshimine (1992) yöntemi için her tabakada 6 ile 17,1 cm değerleri arasında değişmekte ve bir parsel için en çok 35,4 cm değerine ulaşmaktadır. Bununla beraber Çetin (2009) yönteminde ise her tabakada 4,5 ile 14,4 cm değerleri arasında değişmekte ve bir parsel için en çok 33,3 cm değerine ulaşmaktadır. Çalışma alanında gerçekleşecek olası bir 7,5 büyüklüğündeki deprem için hesaplanan tahmini oturma değerleri her iki yöntemde de parsel bazında değerlendirildiğinde, 30 cm değerlerini aşarak oldukça büyük oturmalara sebep olacağı sonucuna varmaktadır.

**Tablo 4.7.** İnceleme alanı kapsamında yapılan oturma hesabı

<b>ADA PARSEL</b>	<b>SPT</b>	<b>YASS (m)</b>	<b>DERİNLİK (m)</b>	<b>FS</b>	<b>δ<sub>ishihara</sub> (cm)</b>	<b>δ<sub>çetin</sub> (cm)</b>
91-65	11	1,5	3	0,49	10,2	7,8
	11		6	0,22	12	12
	11		12	0,18	13,2	13,5
						Σδ=35,4
1279-1	16	1	3	0,48	7,8	7,2
1163-1	5	2	3	0,31	15	12,6
89-140	3	2	3	0,16	17,1	14,4
93-11	9	2	3	0,27	12	10,5
1163-8	5	2,5	4,2	0,26	16,5	13,8
55-10	22	3	4,5	0,97	6,9	5,4
1123-8	20	3	4,5	0,61	7,5	6
1161-10	21	2	3	0,83	6	4,5
51-6	14	0,8	3	0,37	7,8	6,6
	17		6	0,34	7,8	7,5
	16		12	0,46	10,2	9,6
	22		15	0,53	6,15	6
					Σδ=31,95	Σδ=29,7

## 5. SONUÇ VE ÖNERİLER

Deprem gibi büyük bir etki sonucunda zeminlerde meydana gelen ve oldukça tehlikeli ve istenmeyen bir durum olan sıvılaşma olayı bu çalışma kapsamında Sığacık bölgesinden elde edilen arazi deneyleri sonuna göre incelenmiş ve değerlendirilmiştir. Bu çalışmada kullanılan etüt verileri Seferihisar Belediyesi'nden elde edilmiştir. Çalışma kapsamında yer altı su seviyesinin yüksek olduğu zemin profilinin ince dane oranının yüksek olduğu ve aynı zamanda yapılan SPT deneyi sonuçlarına göre zemin profilinin gevşek olduğu anlaşılmıştır. Bu durum incelenen alanlar ve yakın çevresi için risk teşkil etmektedir.

Yeni yönetmelik ile yapılan değerlendirmelerde kullanılacak olan veriler, eski yönetmeliğe göre hazırlanan raporlarda nadiren tam olarak bulunmuştur. Zemin etüt raporlarının en kritik verilerinden olan birim hacim ağırlık, SPT gibi değerlerin mevcut raporlarda olmadığı ve/veya eksik halde sunulmuş olduğu anlaşılmıştır. Bazı raporlarda birim hacim ağırlık değerleri yok iken SPT değerlerinin mevcut olduğu görülmüştür. Bahsi geçen bu noktalarda yakın çevredeki benzer zeminler gözetilerek zemin özelliklerine uygun olacak şekilde kabuller yapılarak analize devam edilmiş ve ayrıca sunulmuştur. Sonuç olarak, ulaşılabilen verilerin değerlendirilmesi ile Seferihisar, Sığacık Mahallesinde oldukça büyük miktarda sıvılaşma riski olduğu belirlenmiştir. İncelenen noktalar arasında, bir yeraltı su seviyesi tespit edilmiş tüm noktalarda sıvılaşma riskinin de bulunduğu tespit edilmiştir. Seferihisar Belediyesi'nin imara esas yapılan ve yapılacak olan yapılar için bu durumu göz önünde bulundurarak gerekli önlemleri aldırması ivedilik ile şarttır.

Eski yönetmelik ile yeni yönetmeliğe göre yapılan sıvılaşma risk analizleri karşılaştırıldığında ise;

- Eski yönetmelikte tanımlanmış standart bir sıvılaşma risk analiz yönteminin olmadığı,
- Eski yönetmeliğe göre yapılan sıvılaşma risk analizlerinin çoğunlukla örneklerin likit limitlerine göre basitçe bir değerlendirmeden geçtiği ve bir güvenlik katsayısının hesaplanmadığı,
- Raporu hazırlayanlarca bir güvenlik katsayısı hesaplanmışsa da bunun çoğunlukla Tokimatsu ve Yoshimi (1983) yöntemine göre hesaplandığı [47].

- Yeni yönetmeliğe göre ilk olarak ince dane yüzdesi, plastisite, SPT gibi değerlere bakılarak sivilaşma risk analizinin gerekliliğine karar verilip, yönetmelikte tanımlanan standartlaştırılmış sivilaşma risk hesabının uygulandığı,
- Eski yönetmelikte sivilaşmanın olmadığı yönünde rapora sahip olan bazı inceleme noktalarında yeni yönetmeliğe göre gerçekleştirilen analiz sonucunda sivilaşma riskinin bulunduğu belirlenmiştir.

Farklı deprem senaryolarına göre de analizler gerçekleştirilmiş ve inceleme sahası içinde 1. Senaryo için hesap yapılan noktaların %65'i sivilaşma için riskli olarak nitelendirilmiştir. 2. Senaryoda sivilaşma riski azalmış ve %14'e kadar inmiştir. 3. Senaryoda ise, sadece 1 noktada sivilaşma riski bulunmuş olup ilgili bölge %94 oranında güvenli olarak belirlenmiştir. Çalışma alanında gerçekleşebilecek 7,5 büyüklüğündeki bir deprem (1. Senaryo) için oldukça büyük bir sivilaşma riski olduğu tespit edilmiştir.

TBDY 2018'de anlatılan sivilaşma hesabı NCEER çalışma grubunun önerdiği sivilaşma hesabı ile de karşılaştırılmıştır. Buna göre, elde edilen güvenlik katsayılarına göre TBDY 2018'de önerilen sivilaşma analizi yönteminde daha küçük güvenlik katsayıları elde edilmesi sebebi ile TBDY 2018 yönteminin, NCEER yöntemine göre daha güvenli tarafta kaldığı görülmektedir.

Bununla beraber, 1. Senaryo için aynı zamanda tahmini oturma miktarları da iki yöntem kullanılarak hesaplanmış ve parsel bazında olası oturmaların her iki yöntemde de 30 cm'yi aştığı sonucuna ulaşılmıştır. Verilerin tüm derinlik boyunca oturma tahmini yapmaya yetmediği noktalarda ise tabaka başına hesap yapılmış ve 4,5-17,1 cm arasında değişen oturma miktarları hesaplanmıştır. İnceleme alanı için 1. Senaryoda oldukça büyük tahmini oturmalar hesaplanmıştır.

Verilerin eksikliği göz önüne alındığında daha geniş bir inceleme alanını kapsayacak daha ayrıntılı verilere ulaşılması gelecek çalışmalar için önerilmektedir.

## KAYNAKLAR

- [1] Özeydın, K., Zeminlerde Sıvılaşma, 6. Ulusal Deprem Mühendisliği Konferansı, 16-20 Ekim 2007, İstanbul.
- [2] Cetin, K. O., Bilge, H. T. Zeminlerin sismik yükleme altında deformasyon ve mukavemet davranışlarına kritik bakış. Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği On Üçüncü Ulusal Kongresi, 30 Eylül - 1 Ekim 2010, İstanbul Kültür Üniversitesi, İstanbul, Türkiye.
- [3] <http://yerbilimleri.mta.gov.tr/anasayfa.aspx>, Yer Bilimleri Harita Görüntüleyici ve Çizim Editörü, Maden Tetkik ve Arama Genel Müdürlüğü, Haziran 2019.
- [4] <https://parselsorgu.tkgm.gov.tr/>, Parsel Sorgulama Uygulaması, Tapu ve Kadastro Genel Müdürlüğü, Haziran 2019.
- [5] Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. ve Kuşcu, İ., 2004, Neotectonic structures in the area offshore of Alaçatı, Doğanbey and Kuşadası (western Turkey): evidence of strike-slip faulting in the Aegean extensional province. *Tectonophysics*, 391, 67-83.
- [6] Ocakoğlu, N., Demirbağ, E. ve Kuşcu, İ., 2005, Neotectonic structures in İzmir Gulf and surrounding regions (western Turkey): Evidences of strike-slip faulting with compression in the Aegean extensional regime. *Marine Geology*, 219, 155–171.
- [7] İnci, U., Sözbilir, H., Sümer, Ö. ve Erkül, F., 2003, Urla-Balıkesir arası depremlerin nedeni fosil bir fay. *Cumhuriyet Bilim ve Teknik Dergisi*, 21 Haziran 2003, 7-8.
- [8] Drahor, M.G., Sarı, C. ve şalk, M., 1999, Seferihisar Jeotermal Alanında Doğal Gerilim (SP) ve Gravite Çalışmaları, 9 Eylül Üniv. Müh. Fak., Fen ve Müh. Derg., c. 1, s.3.
- [9] Erdoğan, B., 1990, İzmir-Ankara Zonu ile Karaburun Kuşağının Tektonik İlişkisi, *M.T.A. Derg*, 110, 1-15.
- [10] Emre, Ö., Özalp, S., Doğan, A., Özaksoy, V., Yıldırım, C. ve Göktaş, F., 2005: İzmir yakın çevresinin diri fayları ve deprem potansiyelleri. MTA Rapor No: 10754 (yayınlanmamış)
- [11] Emre, Ö., Duman T.Y., Özalp, S., Elmacı, H. (2011). 23 Ekim 2011 Van depremi saha gözlemleri ve kaynak faya ilişkin ön değerlendirmeler. MTA, Ankara.
- [12] <http://www.mta.gov.tr/v3.0/>, MTA Genel Müdürlüğü. Haziran, 2019.
- [13] Türkelli, N., Kalafat, D. ve İnce, ř., 1990, 6 Kasım 1992 İzmir depremi ve artçı sokları. *Deprem Araştırma Bülteni*, 68, 58-95.

- [14] Seed, H.B. 1968. Landslides during earthquakes due to soil liquefaction. ASCE, Journal of soil Mekhanics and Foundations Division, vol. 94, 1055-1122.
- [15] Baez, J.I. 1995. A design model for the reduction of soil liquefaction by vibro-stone columns. PhD thesis, University of Southern California, Los Angeles, 207 pp, California, USA.
- [16] Casagrande A (1936) "Characteristics of Cohesionless Soils Affecting the Stability of Slopes and Earth Fills", Journal of the Boston Society of Civil Engineers, v.23, n1, p13-32; Reprinted in Contributions to Soil Mechanics 1925-1940, BSCE, P257-276.
- [17] Mogami, H., Kubo, T. 1953. The Behavior of Soil During Vibration. Proceedings of the 3rd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, pp. 152-153.
- [18] M. Mollamahmutoglu ve F. Babuucu, Zeminlerde Sıvılaşma Analiz ve İyileştirme Yöntemleri, Gazi Kitabevi, Ankara, 2006.
- [19] Kasapoglu vd 1999, Aydan ve Ulusay 2000, Aydan vd 2000, Ulusay vd 2000, Towhata vd 2001, Yasuda vd 2001, Cetin vd 2002, Sancio vd 2002, Ulusay vd 2002, Mollamahmutoglu vd 2003, Cetin vd 2004a, Cetin vd 2004b, Rathje vd 2004, Ulusay ve Kuru 2004, Yilmaz ve Yavuzer 2005, Kanıbir vd 2006, Sonmez vd 2008.
- [20] Coduto, D. P., 1999. Geotechnical Engineering Principles and Practices. New Jersey: Prentice-Hall.)
- [21] Kramer, S.L., 1996. Geotechnical Earthquake Engineering, Prentice Hall, 652 pp, USA
- [22] Fotoğraf: M. Bonilla. USGS'nin izni ile.
- [23] Topal T., Van Depreminde Jeolojik Özelliklerin Yıkımlar Üzerinde Etkisi, 2011, Ankara.
- [24] Fotoğraf: G. Plafker. USGS'nin izniyle.
- [25] Çetin, K.Ö. ve Unutmaz, B. 2004. Zemin sıvılaşması ve sismik zemin davranışı, Türkiye Mühendislik Haberleri, 430, 2004/2, 32-37 s.
- [26] Fotoğraf: K. Steinbrugge. California Üniversitesi'nde Deprem Mühendisliği Araştırma Merkezi'nin izniyle.
- [27] Sanglerat, G, The Penetrometer and Soil Exploration, Elsevier Publishing Co., Amsterdam, 1972.
- [28] Terzaghi, K. and Peck, R.B., Soil Mechanics in Engineering Practice, John Wiley, New York, 1967.



- [29] McGregor, J.A. and Duncan, J.M., "Performance and use of the standard penetration test in geotechnical engineering practice", A Report of a study performed by Virginia Tech Center for Geotechnical Practice and Research, Virginia Polytechnic Institute and State University, October 1998
- [30] Farrar, Sohn H., C.R., Hemez, F.M., Shunk, D.D., Stinemates, D.W., Nadler, B.R., A Review of Structural Health Monitoring Literature:1996-2001 Los Alamos National Laboratory Report, LA-13976-MS, Los Alamos, NM, 2003.
- [31] Uzuner, B.A., 2000. Temel Mühendisliğine Giriş, 2. Baskı, Derya Kitabevi, Trabzon.
- [32] Skempton, A. W., (1986). Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density, Particle Size, Aging and Overconsolidation, *Geotechnique*, 36, 3, 425- 447.
- [33] Decourt, L. (1990). The Standard Penetration Test: State-of-the-Art-Report, Norwegian Geotechnical Institute Publ., No. 179, Oslo.
- [34] Clayton, C. R. I., (1990). SPT Energy Transmission: Theory, Measurement and Significance, *Ground Engineering*, 23, 10, 35-43.
- [35] Tokimatsu, K., (1988). Penetration Tests for Dynamic Problems, Proceedings of 1st International Symposium on Penetration Testing, 117-136, Rotterdam
- [36] Molay, M.M., 1993. SPT-CPT Korelasyonları, Yüksek Lisans Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [37] Önalp, A., 1982. İnşaat Mühendislerine Geoteknik Bilgisi, Cilt 1, K.T.Ü., Trabzon.
- [38] Sivrikaya, O., 2003. Standart Penetrasyon Deneyi ile Zemin Özelliklerinin Belirlenmesi, Doktora Tezi, İ.T.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [39] Castillo, A.J.A., 2007. Correlación entre el Valor N del Ensayo de Penetración Estándar y Velocidad de Ondas de Corte para Arcillas en Bogotá, Proceedings of 10th Revista Épsilon, Bogota, Junio, 8, p. 13-23. (in Colombia)
- [40] Bowles, E.J., 1968. *Foundation Analysis and Design*, McGraww-Hill, NewYork.
- [41] Sağlamer, A. 1996. Arazi deneylerinin Geoteknik Tasarımda Kullanılması, ZM6 Zemin Mekaniği ve Temel Mühendisliği 6. Ulusal Kongresi, İzmir, 24- 25 Ekim.
- [42] Schmertmann, J. H., 1978. Guidelines for Cone Penetration Test: Performance and Design, U.S. Dept. Of Transp., Fed.Highways Admin., Offices of 55 Research and Development, Washington (DC) Report FHWA-TS-78- 209.

- [43] İyisan, R., 1996. Zeminlerde kayma dalga hızı ile penetrasyon deney sonuçları arasındaki bağıntılar, İMO Teknik Derg, 7(2), s. 1187-1199.
- [44] Andrus R.D., Stokoe II KH., Liquefaction resistance of soils from shear wave velocity, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Eng., 126 (11), 1015–25, 2000.
- [45] Yıldırım, S., 2002. Zemin İncelemesi ve Temel Tasarımı, Erdiz Masaüstü Yayıncılık, İstanbul.
- [46] Tezcan, S.S. and Özdemir, Z., 2004. Liquefaction Risk Analysis, Higher Education Research Foundation, İstanbul.
- [47] Tokimitsu, K., ve Yoshimi, Y. 1983. Empirical correlation of soil liquefaction based on SPT-N value and fines content: Soil Mechanics and Foundations,23-4, 56-74.
- [48] <https://www.google.com.tr/intl/tr/earth/>, Google Earth. Haziran, 2019.
- [49] TBDY (2018). “Türkiye Binalar için Deprem Yönetmeliği: Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı için Esaslar”, Türkiye Cumhuriyeti, Ankara.
- [50] Seed, H. B. and Idriss, I. M., 1971. Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, September, 97, p. 1249-1273.
- [51] Youd T. L., Idriss I. M. (2001): “Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from the 1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils”, J. Geotech. and Geoenviron. Engrg., ASCE, v:127 (4), s. 297-311.
- [52] Liao, S. S. C. and Whitman, R. V., 1986. Overburden Correction Factors for SPT in Sand, Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, March ,112(3), p. 373-377.
- [53] Youd TL, Idriss I.M., et al. (2001), “Liquefaction Resistance of Soils”, Summary Report from the NCEER and NSF Workshops, Journal of Geotechnical Geoenvironmental Engineering, 127 (10): 817-833.
- [54] Ishiara K, Yoshmine M (1992) “Evaluation of settlements in sand deposits following liquefaction during earthquakes”, Soils and Foundations, 32: 173-188.
- [55] Cetin, K. O., Bilge, H. T., Wu, J., Kammerer, A. M., ve Seed, R. B. (2009), “Probabilistic models for cyclic straining of saturated clean sands” J. Geotech. Geoenviron. Eng., 135(3), 371-386.

## EKLER

### **EK A.**

1161 Ada-1 Parsel'e ait verilerin orijinal belgesi sunulmuştur. Şekil EK A 1-3'te Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen raporlar sunulmuştur.



### 3. LABORATUVAR DENEYLERİ VE ANALİZLER

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında alınan karot numuneler Jeolab Zemin laboratuvarına gönderilmiş ve burada elek analizi, atterberg tayini, su muhtevası tayini, kesme kutusu deneylerine tabii tutulmuştur. Bu deney Jeolab Zemin laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deneyleri ile ilgili kısımlar ekler kısmında verilmiştir.

### 4. DEĞERLENDİRME

#### 4.1. Bina Zemin İlişkisinin Değerlendirilmesi

İnceleme alanında 2 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Bu kuyulardan belirli derinliklerinden SPT numuneler alınmıştır. Bu derinliklerden alınan numuneler elek, atterberg tayini, su içeriği, kesme kutusu deneylerine tabii tutulmuştur.

Alınan numunelerin elek analizi sonuçları birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre ufak taneli taşlaşmamış çökeller gözlenmektedir. Laboratuvarda yapılan elek analizi sonuçlarına göre birimler ayırtlanmıştır. Buna göre ufak taneli taşlaşmamış çökellerden silt ve kumdan oluşan birimler tespit edilmiştir.

Laboratuvara verilen numunelerden elde edilen elek analizi ve atterberg limitleri sonuçları aşağıda Tablo.4.1' de verilmektedir.

KUYU NO	NUMUNE	DERİNLİK (m)	ÇAKIL (%)	KUM (%)	SİLT- KİL (%)	DOĞAL SU İÇERİĞİ W <sub>n</sub> (%)	ATTERBERG LİMİTLERİ (%)			SINIFLAMA	ZEMİNDE ÜÇ EKSLİK SIKIŞMA		ZEMİNDE DİREKT KESME		v <sub>s</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	v <sub>k</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	
							LL	PL	PI		C	φ	C	φ			
											kpa	°	kpa	°			
SK-1	SPT	1,50	61,42	35,88	2,70	7,1	NP			GP			1,38	31,25	1,786	1,665	
SK-1	SPT	3,00	0,00	4,44	39,73	55,83	18,4	34,0	15,8	18,2	CL	64,31	5,72			1,956	1,649
SK-1	SPT	15,00	0,00	7,92	43,30	48,78	19,7	30,7	16,6	14,1	CL	53,78	7,42			1,935	1,614

**Tablo-4.1.** Laboratuvar Deney Sonuçları

İnceleme alanından alınan numunelerin birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre tanımlanması ise;

GP : Kötü derecelenmiş çakıllı, kumlar

CL : Orta Plastileri inorganik killer olarak sınıflanmaktadır.

İnceleme alanında yapılan SPT deneyi sonuçları ise aşağıda Tablo.4.4'de verilmektedir.

KUYU NO	ÖRNEK NO	DERİNLİK (m)	0 - 5 (cm)	15 -30 (cm)	30 -45 (cm)	N30
SK-1	SPT-1	1.50-1.95	6	5	7	12
SK-1	SPT-2	3.00-3.45	3	3	5	8
SK-1	SPT-3	4.50-4.95	3	3	3	6
SK-1	SPT-4	6.00-6.45	2	3	3	6
SK-1	SPT-5	7.50-7.95	1	1	1	2
SK-1	SPT-6	9.00-9.45	3	2	3	5
SK-1	SPT-7	10.50-10.95	4	4	3	7
SK-1	SPT-8	12.00-12.45	2	1	1	2
SK-1	SPT-9	13.50-13.95	3	1	2	3
SK-1	SPT-10	15.00-15.45	4	4	5	10
SK-2	SPT-1	1.50-1.95	3	4	5	9
SK-2	SPT-2	3.00-3.45	4	5	3	8
SK-2	SPT-3	4.50-4.95	2	2	2	4
SK-2	SPT-4	6.00-6.45	4	3	4	7

**Tablo-4.2.** SPT Deney Sonuçları

Yapılan hesaplamalarda ortalama  $N_{30}$  değeri kullanılmıştır.

$$\text{Darbe sayısı } N_{30} = 7$$

İnceleme alanında gözlemlenen birimlerin genel olarak kohezyonsuz zeminlerden oluşması itibari ile **Terzaghi'nin** önerdiği formüllerinden hesaplamalar yapılmıştır.

$$q_d: K_1 \times C_u \times N_c + \gamma_1 \times D_f \times N_q + K_2 \times N_\gamma \times B \times \gamma_2$$

<b>q<sub>d</sub></b>	Sığ temellerin taşıma gücü
<b>K<sub>1</sub>-K<sub>2</sub></b>	Temel taban geometrisine bağlı katsayı
<b>C<sub>u</sub></b>	Temel zemini kohezyonu
<b>D<sub>f</sub></b>	Temel derinliği
<b>γ<sub>1</sub></b>	Temel taban seviyesi üzerindeki zeminin birim hacim ağırlığı
<b>γ<sub>2</sub></b>	Temel taban seviyesi altındaki zeminin birim hacim ağırlığı
<b>B</b>	Temel genişliği
<b>N<sub>c</sub></b>	Taşıma gücü faktörleri
<b>N<sub>q</sub></b>	Taşıma gücü faktörleri
<b>N<sub>γ</sub></b>	Taşıma gücü faktörleri

**Yapılan jeoteknik hesaplamalar sonucunda;**

Zemin grubu	D
Yerel zemin sınıfı	Z <sub>4</sub>
Etkin yer ivme katsayısı A(0)	0,40
Spektral ivme katsayısı A(T)	1,00
Bina önem katsayısı I	1,00
Spekturum katsayısı S(T)	2,50
Spektrum karakteristik periyotları	T <sub>A</sub> = 0.20 ve T <sub>B</sub> =0.90
Yatak Katsayısı	2520 t / m <sup>3</sup>

Hesaplamalar ve sınıflamalar ile ilgili bilgiler Tablo.4.4 Tablo.4.5 Tablo.4.6 ve Tablo.4.7’de verilmektedir.

**4.2.Sıvılaşma Riskinin Değerlendirilmesi**

Deprem sırasında tekrarlı yükler gevşek kumlarda hacim azalmasına yola açar ve yükün kalkmasından sonra birim kısalmalar sıfıra dönmeye yeniden yüklenir. Böylece suyun drene olmaması ve hacim azalması sonucunda boşluk suyu basınçlarında artışlar meydana gelir. Boşluk suyu basıncı artarak toplam gerilmeye eşit ya da fazla olur bu durumda zemin kayma direncini yitirir. Bu olay sıvılaşma olarak adlandırılır.

Tokimatsu ve Yoshimi (1983) Yöntemine Göre Sıvılaşma Analizi Hesabı Ayrıntıları ve Sonuçları																	
Kuyu No.	z (m)	ρ <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	Y.A.S.S.	α <sub>v</sub> (kg/cm <sup>3</sup> )	α <sub>h</sub> (kg/cm <sup>3</sup> )	FC	DN <sub>r</sub>	N <sub>6</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>1(80)</sub>	N <sub>v</sub>	τ <sub>f/σ<sub>v</sub></sub>	τ <sub>f/σ<sub>v</sub></sub>	FS	SIVILAŞMA	BİRİM
SK-1	1.50	1.79	1.67	1.00	0.26	0.21	2.70	0.0	11	21	21	21	0.31	0.25	0.80	VAR	GP
SK-1	3.00	1.96	1.65	1.00	0.53	0.33	55.83	9.6	8	13	13	23	0.40	0.33	0.83	VAR	CL
SK-1	15.00	1.94	1.61	1.00	2.45	1.05	48.78	8.9	8	8	8	17	0.47	0.18	0.39	VAR	CL

<b>M = 7.50</b>
<b>a = 0.40</b>

z (m) : Sondaj derinliği	incetane %'si, FC	DN <sub>r</sub>	FS < 1 Sıvılaşma Riski mevcut
ρ <sub>s</sub> (g/cm <sup>3</sup> ) : Birim Hacim Ağırlık kuru	0-5	0	FS > 1 Sıvılaşma Riski Yok
ρ <sub>d</sub> (g/cm <sup>3</sup> ) : Birim Hacim Ağırlık yığı	6-10	interpolasyonla	
Y.A.S.S. : Yer altı su seviyesi	>10	0,1*FC+4	
α <sub>v</sub> (kg/cm <sup>3</sup> ) : Toplam gerilme			
α <sub>h</sub> (kg/cm <sup>3</sup> ) : Etkelil gerilme			
FC : İnce tane %si			
ΔN <sub>6</sub> : İnce tane düzeltme Katsayısı			
N <sub>6</sub> : Düzeltilmemiş N30 değeri			
N <sub>1</sub> : Düzeltilmiş N30 değeri			
N <sub>1(80)</sub> : Düzeltilmiş N30 değeri (0.81N <sub>1</sub> ) / N <sub>1</sub> ile aynı			
N <sub>v</sub> : Depremden kaynaklanan periyodik gerilme			
τ <sub>f/σ<sub>v</sub></sub> : Depremden kaynaklanan periyodik gerilme			
τ <sub>f/σ<sub>v</sub></sub> : Yerin periyodik gerilme direnci			
FS : Sıvılaşma potansiyeli			
N : SPT-N değeri			
M : Deprem magnitüdü (7.5)			
a <sub>max</sub> : Depremin ivmesi(cm/s <sup>2</sup> )			
a : 0.45			
Cr : 0.57			
Ce : 80			
n : 14			
g : 9.81			

Depremden kaynaklanan gerilme oranı	Devirsel gerilme direnci
$\frac{\tau_f}{\sigma'_v} = aC_r \left[ \frac{16\sqrt{N_v}}{100} + \left( \frac{16\sqrt{N_v}}{C_r} \right)^n \right]$	$\frac{\tau_d}{\sigma'_v} = 0.1(M-1) \frac{\alpha_{max} \sigma'_v}{g \sigma'_v} (1-0.015z)$
$N_1 = \frac{1.7}{\sigma'_v + 0.7} N$	

Şekil EK A.3

## **EK B.**

93 Ada-11 Parsel'e ait verilerin orijinal belgesi sunulmuştur. Şekil EK B 1-3'te Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen raporlar sunulmuştur.



AS JEOTEKNİK		AS JEOTEKNİK SONDAJ LOGU	
PROJE ADI	BARIŞ ÖZKAN	Kuyu Derinliği	13,00 metre
İLİ	İZMİR / SEFERİHİSAR	YERALTI SU SEVİYESİ	1. Ölçüme : 1,50 metre
YERİ	99 ADA, 11 PARSEL	2. Ölçüme	1,80 metre
SONDAJ METODU	ROTARY	Koordinat - X	481 249
Başlama Tarihi	10.06.2019	Koordinat - Y	4 227 183
Bitiş Tarihi	10.06.2019	Koordinat - Z	....
Sondaç Derinliği (m)		Sondaç NO	
Tabaka Derinliği (m)		SAYFA NO	
Numane No		Logu Hazırlayan	
Num. Derinliği (m)		EMRE ÜNSAL	
Numane Türü		Sondaç	
Müh. Borusu		MEVLÜT ARSLAN	
Zemin Deneyleri		Kaya Özellikleri	
SPT		Standart Penetrasyon Grafiği	
Darbe Sayıları		Karat Yansıma %	
15 30 45 N		RQD %	
		Ayrışma Derecesi	
		Çatlak Sıklığı	
		Jeolojik Kesit	
		Zemin Tanımlama	
0,50	metre		
1,00			
1,50	1,50	SPT	
1,95			
2,00			
2,50	2,50	SPT	
2,95			
3,00	3,00	SPT	
3,45			
4,00			
4,50	4,50	SPT	
4,95			
5,00			
5,50	5,50	SPT	
5,95			
6,00	6,00	SPT	
6,45			
7,00			
7,50	7,50	SPT	
7,95			
8,00			
8,50	8,50	SPT	
8,95			
9,00	9,00	SPT	
9,45			
10,00			
10,50	10,50	SPT	
10,95			
11,00			
11,50	11,50	SPT	
11,95			
12,00	12,00	SPT	
12,45			
13,00			
KUYU SONU: 13,00 METRE			
14,00			
15,00			
ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT		KAYA NİTELİĞİ - RQD (%)	
Ince taneli (Kobaryonlu)	İri taneli (Kobaryonsuz)	AYRIŞMA DERECE (W)	
N : 0-2 Çok Yumşak	N : 0-4 Çok Gevrek	0-25 Çok Zayıf	W1 Taze (Ayrışmaz)
N : 3-4 Yumşak	N : 5-10 Gevrek	25-50 Zayıf	W2 Az Ayrışmış
N : 5-8 Orta Katı	N : 11-30 Orta	50-75 Orta	W3 Orta Derecede Ayr.
N : 9-13 Katı	N : 31-50 Sıkı	75-90 İyi	W4 Ayrışmış
N : 14-30 Çok Katı	N : >50 Çok Sıkı	90-100 Ç.İyi	W5 Tamamen Ayr.
N : 30 Sert			
< 1 Masif			
1-3 Az çatlaklı-Kırıklı			
3-10 Kırıklı			
10-50 Çok çatlaklı-Kırıklı			
> 50 Parçalanmış			

Şekil EK B.1



PROJE ADI :		BARIŞ ÖZKAN		Kaya Derinliği :		20,00 metre		SONDAJ NO :		SK-3												
İLİ :		İZMİR / SEFERİHİSAR		YERALTI SU SEVİYESİ :		1. Okuma : 1,50 metre		SAYFA NO :		1												
YERİ :		99 ADA, 11 PARSEL		Koordinat - X :		481 246		Logu Hazırlayan		EMRE ÜNSAL												
SONDAJ METODU :		ROTARY		Koordinat - Y :		4 227 175		Sondör		MEVLÜT ARSLAN												
Başlama Tarihi :		10.06.2019		Koordinat - Z :		.....																
Bitiş Tarihi :		10.06.2019																				
Sondaj Derinliği (m)	Tabaka Derinliği (m)	Numaralı No	Num. Derinliği (m)	Numaralı Yarı	Müh. Borusu	Zemin Denevleri					Kaya Özellikleri				Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması						
						SPT				Standart Penetrasyon Grafiği							Kareli Yüzdemi %	RQD %	Ayrışma Derecesi	Çatlak Sıklığı		
						15	30	45	N	10	20	30	40	50								
	0,30 metre																					
1,00																						
2,00			1,50 1,95		SPT		5	7	6	13												
3,00			3,00 3,45		SPT		4	5	5	10												
4,00																						
5,00			4,50 4,95		SPT		2	2	4	6												
6,00			6,00 6,45		SPT		1	1	1	2												
7,00																						
8,00			7,50 7,95		SPT		2	1	2	3												
9,00			9,00 9,45		SPT		2	2	1	3												
10,00																						
11,00			10,50 10,95		SPT		1	2	1	3												
12,00			12,00 12,45		SPT		1	1	1	2												
13,00																						
14,00			13,50 13,95		SPT		2	3	2	5												
15,00			15,00 15,45		SPT		1	2	2	4												
<b>ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT</b>						<b>KAYA NİTELİĞİ - RQD (%)</b>					<b>AYRIŞMA DERECESİ (W)</b>				<b>ÇATLAK SIKLIĞI</b>							
İnce taneli (Kobayonuz)			İri taneli (Kobayonuz)																			
N : 0-2 Çok Yumuşak			N : 0-4 Çok Gevrek			0-25 Çok Zayıf					W1 Taze (Ayrışmamış)				< 1 Masif							
N : 3-4 Yumuşak			N : 5-10 Gevrek			25-50 Zayıf					W2 Az Ayrışmış				1-3 Az çatlaklı-Kirikli							
N : 5-8 Orta Katı			N : 11-30 Orta			50-75 Orta					W3 Orta Derecede Ayr.				3-10 Kirikli							
N : 9-13 Katı			N : 31-50 Sıkı			75-90 İyi					W4 Ayrışmış				10-50 Çok çatlaklı-Kirikli							
N : 14-30 Çok Katı			N : >50 Çok Sıkı			90-100 Ç. İyi					W5 Tamamen Ayr.				> 50 Parçalanmış							
N : 30 Sert																						

Şekil EK B.2

Müşteri Adı Customer's Name		AS JEOTEKNİK ARAŞTIRMA SONDAJ İNŞ. SAN. TİC. LTD.ŞTİ.				Rapor No : Report no		Bakanlık Rapor No : Ministerial Report no																							
Num.Alındığı Yer Project/Location		93 ada 11 prs. Seferihisar/İZMİR - BARIŞ ÖZKAN				Rapor Tarihi Date of Report		14.06.2019																							
Sondaj No Boring No	Numaralı No Sample No	Derinlik (m) Depth	ÇAKIL / Gravel		KUM / Sand	SİLİT / silt	KİL / Clay	Atterberg limitleri Atterberg Limits			W <sub>L</sub>	Y <sub>c</sub>	Y <sub>s</sub>	Sınıflama Classification	Konsolidasyon Consolidations	Zeminde Üç Eks.Sıkışma Triaxial Comp.		Zeminde Tek Eks.Sıkışma Unconfined Steen.		Zeminde Direkt Kesme Direct Shears		Zeminde Direkt Kesme (Rezidüel gerilime)		Kayada Üç Eks.Sıkışma Triaxial Comp. for Rock		Şişme Basıncı Swell Pressure	Şişme Yüzdesi Swelling Ratio	İS <sub>50</sub> (Ort.)			
			(%)	(%)				(%)	(%)	LL						PL	PI	(%)	q <sub>c</sub>	φ	q <sub>u</sub>	c	c	φ	c'				φ'	c	φ
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	gr/cm <sup>3</sup>	gr/cm <sup>3</sup>			(kPa)	(°)	(kPa)	(kPa)	(kPa)	(°)	(kPa)	(°)	(MPa)	(°)	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)	(MPa)			
1	SK-1	1,50-1,95	63,67	34,79	1,54			NP		8,2	1,887	1,741		GP																	
2	SK-1	12,00-12,45	0,00	7,04	35,38	47,58	31,6	15,4	16,2	16,5				CL																	
3	SK-2	4,50-4,95	0,00	6,24	41,98	51,78	30,0	15,7	14,3	17,5				CL																	
4	SK-2	12,00-12,45	0,00	8,66	36,18	55,16	31,7	16,4	15,3	16,9				CL																	
5	SK-3	6,00-6,45	0,00	9,28	41,51	49,21	32,2	17,1	15,1	19,8				CL																	
6	SK-3	19,50-19,95	0,00	5,14	46,44	48,42	30,1	16,6	13,5	18,8				CL																	

Şekil EK B.3



## **EK C.**

51 Ada-6 Parsel'e ait verilerin orijinal belgesi sunulmuştur. Şekil EK C 1-3'te Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen raporlar sunulmuştur.



### 3. LABORATUVAR DENEYLERİ VE ANALİZLER

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında alınan karot numuneler Jeolab Zemin laboratuvarına gönderilmiş ve burada elek analizi, atterberg tayini, su muhtevası tayini deneylerine tabii tutulmuştur. Bu deney Jeolab Zemin laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deneyleri ile ilgili kısımlar ekler kısmında verilmiştir.

### 4. DEĞERLENDİRME

#### 4.1. Bina Zemin İlişkisinin Değerlendirilmesi

İnceleme alanında 2 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Bu kuyulardan belirli derinliklerinden karotiyer yardımı ile karot numuneler alınmıştır. Bu derinliklerden alınan numuneler elek, atterberg tayini, su içeriği, ve kesme kutusu deneylerine tabii tutulmuştur.

Alınan numunelerin elek analizi sonuçları birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre ufak taneli taşlaşmamış çökeller gözlenmektedir. Laboratuvarda yapılan elek analizi sonuçlarına göre birimler ayırtlanmıştır. Buna göre ufak taneli taşlaşmamış çökellerden çakıl ve kumdan oluşan birimler tespit edilmiştir.

Laboratuvara verilen numunelerden elde edilen elek analizi ve atterberg limitleri sonuçları aşağıda Tablo.4.1' de verilmektedir.

Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	ÇAKIL (%)	KUM (%)	SİLT (%)	KİL (%)	Atterberg limitleri			W <sub>n</sub> (%)	γ <sub>n</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	γ <sub>k</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	Zeminde Direkt Kesme		SINIFLAMA
							LL (%)	PL (%)	PI (%)				C (kpa)	φ (°)	
							SK-1	SPT	1,50-1,95				25,56	71,26	
SK-1	SPT	3,00-3,45	32,02	57,42	10,56	NP	7,0	1,820	1,695	0,23	28,39	SM-SP			
SK-1	SPT	6,00-6,45	27,47	65,17	7,36	NP	11,2	1,843	1,647	4,48	25,06	SM-SP			
SK-1	SPT	12,00-12,45	18,31	72,55	9,14	NP	8,1	1,813	1,671	2,13	26,84	SM-SP			
SK-1	SPT	15,00-15,45	22,26	69,38	8,36	NP	11,3	1,865	1,665	1,38	25,72	SM-SP			

**Tablo-4.1.** Laboratuvar Deney Sonuçları

İnceleme alanından alınan numunelerin birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre tanımlanması ise;

**SM:** Siltli-kum kum – silt karışımı olarak sınıflanmaktadır.

İnceleme alanında yapılan SPT deneyi sonuçları ise aşağıda Tablo.4.4'de verilmektedir.

KUYU NO	ÖRNEK NO	DERİNLİK (m)	0 - 5 (cm)	15 -30 (cm)	30 -45 (cm)	N30
SK-1	SPT-1	1.50-1.95	7	7	8	15
SK-1	SPT-2	3.00-3.45	8	6	8	14
SK-1	SPT-3	4.50-4.95	10	6	6	12
SK-1	SPT-4	6.00-6.45	8	7	10	17
SK-1	SPT-5	7.50-7.95	10	8	12	20
SK-1	SPT-6	9.00-9.45	11	10	12	22
SK-1	SPT-7	10.50-10.95	15	8	10	18
SK-1	SPT-8	12.00-12.45	14	8	8	16
SK-1	SPT-9	13.50-13.95	12	8	12	20
SK-1	SPT-10	15.00-15.45	15	7	15	22
SK-2	SPT-1	1.50-1.95	7	7	7	14
SK-2	SPT-2	3.00-3.45	8	6	6	12
SK-2	SPT-3	4.50-4.95	8	6	6	12
SK-2	SPT-4	6.00-6.45	7	9	9	16

**Tablo.4.4** SPT Deney Sonuçları

İnceleme alanında gözlemlenen birimlerin genel olarak kohezyonsuz zeminlerden oluşması itibari ile Terzaghi'nin önerdiği formüllerinden hesaplamalar yapılmıştır. Formüller aşağıda verilmektedir.

$$q_d: K_1 \times C_u \times N_c + \gamma_1 \times D_f \times N_q + K_2 \times N_\gamma \times B \times \gamma_2$$

qd	Sığ temellerin taşıma gücü
<b>K<sub>1</sub>-K<sub>2</sub></b>	Temel taban geometrisine bağlı katsayı
<b>C<sub>u</sub></b>	Temel zemini kohezyonu
<b>D<sub>f</sub></b>	Temel derinliği
<b>γ<sub>1</sub></b>	Temel taban seviyesi üzerindeki zeminin birim hacim ağırlığı
<b>γ<sub>2</sub></b>	Temel taban seviyesi altındaki zeminin birim hacim ağırlığı
<b>B</b>	Temel genişliği
<b>N<sub>c</sub></b>	Taşıma gücü faktörleri
<b>N<sub>q</sub></b>	Taşıma gücü faktörleri
<b>N<sub>γ</sub></b>	Taşıma gücü faktörleri

İnceleme alanında yapılan arazi deney sonuçları ve laboratuvar sonuçlarına göre yapılan sıvılaşma analizlerinde saha için hesaplanan değerler " $F_s < 1$  Sıvılaşma Riski Mevcut" aralığında kalmaktadır. İnşaat aşamasında gerekli önlemlerin uzman mühendisler tarafından alınması gerekmektedir.

İZMİR / SEFERİHİSAR/SIĞACIK/30L-2D PAFTA, 51 ADA 6 PARSEL																		
Tokimatsu ve Yoshimi (1983) Yöntemine Göre Sıvılaşma Analizi Hesabı Ayrıntıları ve Sonuçları																		
Kayıt No.	z (m)	$\rho_w$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	Y.A.S.S.	$\sigma_v$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	$\sigma'_v$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	FC	DN <sub>r</sub>	N <sub>60</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>150</sub>	N <sub>30</sub>	N <sub>45</sub>	N <sub>60</sub>	N <sub>75</sub>	N <sub>90</sub>	N <sub>105</sub>	N <sub>120</sub>
SK-1	1,50	1,89	1,68	0,80	0,27	0,20	3,18	0,0	15	28	28	28	28	0,34	0,85	2,46	YOK	SP
SK-1	3,00	1,82	1,70	0,80	0,52	0,30	10,56	5,1	14	24	24	24	24	0,43	0,92	2,14	YOK	SP-SM
SK-1	4,50	1,82	1,70	0,80	0,77	0,40	10,56	5,1	12	18	18	18	18	0,46	0,97	0,79	VAR	SP-SM
SK-1	6,00	1,84	1,65	0,80	1,01	0,49	7,36	2,4	17	24	24	24	24	0,49	0,62	1,27	YOK	SP-SM
SK-1	7,50	1,84	1,65	0,80	1,25	0,58	7,36	2,4	20	27	27	27	27	0,50	0,92	1,86	YOK	SP-SM
SK-1	9,00	1,84	1,65	0,80	1,50	0,68	7,36	2,4	22	27	27	27	27	0,50	1,03	2,09	YOK	SP-SM
SK-1	10,50	1,84	1,65	0,80	1,75	0,78	7,36	2,4	18	21	21	21	23	0,49	0,24	0,70	VAR	SP-SM
SK-1	12,00	1,81	1,67	0,80	2,02	0,90	9,14	4,1	16	17	17	17	21	0,48	0,27	0,56	VAR	SP-SM
SK-1	13,50	1,81	1,67	0,80	2,27	1,00	9,14	4,1	20	20	20	20	24	0,47	0,40	0,86	VAR	SP-SM
SK-1	15,00	1,87	1,66	0,80	2,51	1,09	9,36	3,4	22	21	21	21	24	0,46	0,41	0,89	VAR	SP-SM

**M = 7,60**  
**a = 0,40**

z (m)	: Sondaj derinliği	İnceleme 90°'si, FC	DN <sub>r</sub>	FS < 1 Sıvılaşma Riski mevcut
$\rho_w$ (g/cm <sup>3</sup> )	: Birim Hacim Ağırlık kuru	0-5	0	FS > 1 Sıvılaşma Riski Yok
$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	: Birim Hacim Ağırlık yaş	6-10	İnterpolasyonla	
Y.A.S.S.	: Yer altı su seviyesi	>10	0,1*FC=4	
$\sigma_v$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	: Toplam gerilme			
$\sigma'_v$ (kgf/cm <sup>2</sup> )	: Etkel gerilme			
FC	: İnce taneli %1			
DN <sub>r</sub>	: İnce taneli düzeltme katsayısı			
N <sub>60</sub>	: Düzeltilmemiş N50 değeri			
N <sub>1</sub>	: Düzeltilmiş N50 değeri			
N <sub>150</sub>	: Düzeltilmiş N50 değeri (D <sub>60</sub> (%) / N <sub>1</sub> ile ayar)			
N <sub>30</sub>	: Depremden kaynaklanan periyodik gerilme			
N <sub>45</sub>	: Yeraltı su potansiyeli			
N <sub>60</sub>	: SPT-N değeri			
N <sub>75</sub>	: Deprem magnitudü (T.B)			
N <sub>90</sub>	: Depremden kaynaklanan periyodik gerilme			
N <sub>105</sub>	: Depremden kaynaklanan periyodik gerilme			
N <sub>120</sub>	: Depremden kaynaklanan periyodik gerilme			
N <sub>135</sub>	: Depremden kaynaklanan periyodik gerilme			
N <sub>150</sub>	: Depremden kaynaklanan periyodik gerilme			

**FS = Yerin periyodik gerilme direnci / Depremden kaynaklanan periyodik gerilme oranı**

**Depremden kaynaklanan gerilme oranı**

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_v} = \alpha C_r \left[ \frac{16\sqrt{N_{60}}}{100} + \left( \frac{16\sqrt{N_{60}}}{C_r} \right)^a \right]$$

$$N_1 = \frac{1.7}{\sigma'_v + 0.7} N$$

**Devirsel gerilme direnci**

$$\frac{\tau_d}{\sigma'_v} = 0.1(M-1) \frac{\alpha_{\max} \sigma'_v}{g \sigma'_v} (1 - 0.015z)$$

**AS JEOTEKNİK**  
ARAŞTIRMA SONDAJ MÜHENDİSLİK

### 4.3. Oturma

Temel aracılığı ile zemine aktarılan yapı yükleri altında zeminde meydana gelen düşey deformasyonlara oturma denilir. Oturma, yapı yükünden dolayı temel tabanındaki zemin içinde bulunan havanın ve boşluklardaki suyun dışarı çıkması sonucu oluşur. İnce taneli (killi, siltli) zeminlerin permeabilitesi çok düşük olduğundan, yüklenen zeminden suyun dışarı çıkması yavaş olacak ve buna bağlı olarak zemin sıkışması zamana bağlı olarak değişecektir. İri taneli kumlu, çakıllı zeminlerin permeabilitesi yüksek olduğu için, yüklenen zeminden suyun dışarı çıkışı hızlı olacaktır. İnceleme alanında gözlemlenen birim çakıllar ve siltlerden oluştuğundan dolayı oturma beklenmemektedir.

## **EK D.**

1279 Ada-1 Parsel'e ait verilerin orijinal belgesi sunulmuştur. Şekil EK D 1-3'te Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen raporlar sunulmuştur.



### 3. LABORATUVAR DENEYLERİ VE ANALİZLER

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında alınan karot numuneler Jeolab Zemin laboratuvarına gönderilmiş ve burada elek analizi, atterberg tayini, su muhtevası tayini deneylerine tabii tutulmuştur. Bu deney Jeolab Zemin laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deneyleri ile ilgili kısımlar ekler kısmında verilmiştir.

### 4. DEĞERLENDİRME

#### 4.1. Bina Zemin İlişkisinin Değerlendirilmesi

İnceleme alanında 2 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Bu kuyulardan belirli derinliklerinden karotiyer yardımı ile karot numuneler alınmıştır. Bu derinliklerden alınan numuneler elek, atterberg tayini, su içeriği, kesme kutusu ve nokta yükleme deneylerine tabii tutulmuştur.

Alınan numunelerin elek analizi sonuçları birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre ufak taneli taşlaşmamış çökeller gözlenmektedir. Laboratuvarda yapılan elek analizi sonuçlarına göre birimler ayırtlanmıştır. Buna göre ufak taneli taşlaşmamış çökellerden çakıl ve kumdan oluşan birimler tespit edilmiştir.

Laboratuvara verilen numunelerden elde edilen elek analizi ve atterberg limitleri sonuçları aşağıda Tablo.4.1' de verilmektedir.

Sondaj No	Numune No	Derinlik (m)	ÇAKIL (%)	KUM (%)	SİLT (%)	KİL (%)	Atterberg limitleri			W <sub>n</sub> (%)	γ <sub>n</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	γ <sub>k</sub> (gr/cm <sup>3</sup> )	Zeminde Direkt Kesme		SINIFLAMA
							LL (%)	PL (%)	PI (%)				C (kpa)	φ (°)	
SK-1	SPT	1,50-1,95	35,10	59,63	5,27		NP		12,9	1,875	1,555	3,30	26,23	SP-SM	
SK-1	SPT	9,00-9,45	0,00	2,22	97,78		NP		38,2					MI	
SK-2	SPT	3,00-3,45	27,52	63,65	8,83		NP		11,0	1,899	1,704	2,48	24,24	SP-SM	
SK-3	SPT	6,00-6,45	69,06	24,41	6,53		NP		9,1	1,958	1,784	0,98	27,21	GP-GM	

**Tablo-4.1.** Laboratuvar Deney Sonuçları

İnceleme alanından alınan numunelerin birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre tanımlanması ise;

SP : Kötü Derecelendirilmiş Çakıl Kum Karışımı,

SM : Siltli Kum,



GM – GP : Siltli Çakıl,

MI : İnorganik silt, olarak sınıflanmaktadır.

#### Kıvam Limitlerine Göre Sınıflama

İnce taneli zeminlerin kıvamlılık indeksine göre sınıflaması yapılacak olur ise; silt ve kil birimlerindeki değerler aşağıda verilmektedir.

$$I_c = (LL - w) / PI$$

Ic: Kıvamlılık İndeksi

LL: Likit Limit

W : Su İçeriği

PI : Plastisite İndeksi

SONDAJ KUYUSU	DERİNLİK (m)	ZEMİN SİMGESİ	KIVAMLILIK İNDEKSİ (Ic)
SK-1	9,00 – 9,45	MI	0,64

**Tablo.4.2** İnceleme Alanındaki İnce Taneli Zeminlerin Derinliklere Göre Kıvamlılık İndeksi

KIVAMLILIK İNDEKSİ (Ic)	TANIM
< 0	Akışkan (Çamur)
0 – 0.25	Çok Yumuşak
0.25 – 0.50	Yumuşak
0.50 – 0.75	Yarı Sert ( Sıkı )
0.75 – 1.00	Sert
>1.00	Yarı Katı ( Çok Sert )

**Tablo.4.3** İnce Taneli Zeminlerin Kıvamlılık İndeksine Göre Sınıflaması

Yapılan değerlendirmeler sonucunda ince taneli zeminlerin kıvamlılık indeksi için kıvamlılık İndeksi **Yarı Sert Katı** olarak tanımlanmaktadır.

İnceleme alanında yapılan SPT deneyi sonuçları ise aşağıda Tablo.4.4'de verilmektedir.

KUYU NO	ÖRNEK NO	DERİNLİK (m)	0 - 5 (cm)	15 -30 (cm)	30 -45 (cm)	N30
SK-1	SPT-1	1.50-1.95	6	5	6	11
SK-1	SPT-2	3.00-3.45	5	7	7	14
SK-1	SPT-3	4.50-4.95	7	9	12	21
SK-1	SPT-4	6.00-6.45	10	12	14	26
SK-1	SPT-5	7.50-7.95	5	4	3	7
SK-1	SPT-6	9.00-9.45	2	2	3	5
SK-1	SPT-6	9.00-9.45	2	2	3	5
SK-2	SPT-1	1.50-1.95	5	6	6	12
SK-2	SPT-2	3.00-3.45	7	8	8	16
SK-2	SPT-2	3.00-3.45	7	8	8	16
SK-2	SPT-3	4.50-4.95	10	12	11	23
SK-2	SPT-3	4.50-4.95	10	12	11	23
SK-2	SPT-4	6.00-6.45	8	14	15	29

Saha içerisinde çılan sondaj kuyularına ait arazi deney sonuçları ve laboratuvar sonuçlarına göre yapılan sıvılaşma analizlerinde bazı metrelerinde saha için hesaplanan değerler **“sıvılaşabilir”** aralığında kalmaktadır. İnşaat aşamasında uzman mühendisler tarafından gerekli önlemler alınması gerekmektedir.

İZMİR / SEFERİHİSAR/SIĞACIK/30L-2D PAFTA, 1279 ADA 1 PARSEL																			
Tokimatsu ve Yoshimi (1983) Yöntemine Göre Sıvılaşma Analizi Hesabı Ayrıntıları ve Sonuçları																			
Kuyu No.	z (m)	p <sub>0</sub> (t/cm <sup>2</sup> )	p <sub>0</sub> (t/cm <sup>2</sup> )	Y.A.S.S.	α <sub>v</sub> (t/cm <sup>2</sup> )	α <sub>v</sub> (t/cm <sup>2</sup> )	FC	DN <sub>v</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	N <sub>1</sub>	α <sub>v</sub> α <sub>v</sub>	α <sub>v</sub> α <sub>v</sub>	FS	SIVILAŞMA	BİRİM
SK-1	1,50	1,88	1,55	1,00	0,27	0,22	5,27	0,3	11	20	20	21	0,31	0,26	0,82	0,82	0,82	VAR	SP
SK-2	3,00	1,90	1,70	1,00	0,53	0,33	8,83	3,8	16	26	26	30	0,40	1,19	2,99	2,99	YOK	SP-SM	
SK-3	6,00	1,90	1,78	1,00	1,09	0,59	6,53	1,5	27	36	36	37	0,44	4,27	>3,0	>3,0	VAR	GP-GM	
SK-1	9,00	1,89	1,55	1,00	1,43	0,63	97,78	13,8	5	6	6	20	0,51	0,24	0,47	0,47	VAR	MI	

M = 7,50
a = 0,40

z (m) : Sondaj derinliği	İncelenen %'li FC	DNT	FS < 1 Sıvılaşma Riski mevcut
p <sub>0</sub> (t/cm <sup>2</sup> ) : Birim Hacim Ağırlığı	0-5	0	FS > 1 Sıvılaşma Riski Yok
p <sub>0</sub> (t/cm <sup>2</sup> ) : Birim Hacim Ağırlığı	6-10	interpolasyonla	
Y.A.S.S. : Yer altı su seviyesi	>10	0,1*FC+4	
α <sub>v</sub> (t/cm <sup>2</sup> ) : Toplam gerilme	FS = Yerin periyodik gerilme direnci / Depremden kaynaklanan periyodik gerilme oranı		
α <sub>v</sub> (t/cm <sup>2</sup> ) : Etkelil gerilme	Depremden kaynaklanan gerilme oranı		
FC : İnce taneli %	$\frac{\tau_d}{\sigma'_v} = \alpha C_r \left[ \frac{16\sqrt{N_a}}{100} + \left( \frac{16\sqrt{N_a}}{C_r} \right)^n \right]$		
DN <sub>v</sub> : İnce taneli dölünme katsayısı	$N_1 = \frac{1.7}{\sigma'_v} + 0.7 N$		
N <sub>1</sub> : Dölünme N50 değeri	Devrimsel gerilme direnci		
N <sub>1</sub> : Dölünme N50 değeri (0,31N) / N1 (24 ay)	$\frac{\tau_d}{\sigma'_v} = 0.1(M-1) \frac{\alpha_{max}}{g} \frac{\sigma'_v}{\sigma'_v} (1-0.015z)$		
N <sub>1</sub> : Depremden kaynaklanan periyodik gerilme	JEOTEKNİK		
α <sub>v</sub> α <sub>v</sub> : Yerin periyodik gerilme direnci			
FS : Sıvılaşma potansiyeli			
N : SPT-N değeri			
M : Deprem magnitudü (7,8)			
α <sub>max</sub> : Deprem hızı (cm/s <sup>2</sup> )			
g : 0,45			
C <sub>r</sub> : 0,37			
C <sub>u</sub> : 80			
n : 14			
g : 9,81			

### 4.3. Oturma

Temel aracılığı ile zemine aktarılan yapı yükleri altında zeminde meydana gelen düşey deformasyonlara oturma denilir. Oturma, yapı yükünden dolayı temel tabanındaki zemin içinde bulunan havanın ve boşluklardaki suyun dışarı çıkması sonucu oluşur. İnce taneli (killi, siltli) zeminlerin permeabilitesi çok düşük olduğundan, yüklenen zeminden suyun dışarı çıkması yavaş olacak ve buna bağlı olarak zemin sıkışması zamana bağlı olarak değişecektir. İri taneli kumlu, çakıllı zeminlerin permeabilitesi yüksek olduğu için, yüklenen zeminden suyun dışarı çıkışı hızlı olacaktır. İnceleme alanında gözlemlenen birim çakıllar ve siltlerden oluştuğundan dolayı oturma beklenmemektedir.

Temel	Kil (mm)	Kum (mm)
Tekil Temel	60	40
Radye Temel	100	60
Yığma Temel	60	30
Çerçeve Yapı	100	50
Silo	250	100

Tablo.4.5 Yapılarda İzin Verilen Toplam Oturma Üst Sınırları

## **EK E.**

1163 Ada-1 Parsel'e ait verilerin orijinal belgesi sunulmuştur. Şekil EK E 1-3'te Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen raporlar sunulmuştur.



PROJE ADI :	HASAN DOĞAN	Kuyu Derinliği :	20,00 metre	SONDAJ NO :	SE-1
İLİ :	İZMİR / SEFERİHİSAR	YERALTI SU SEVİYESİ :	1. Ölçüm : 1,50 metre 2. Ölçüm : 2,00 metre	SAYFA NO :	1
YERİ :	1163 ADA, 1 PARSEL	Koordinat - X :	481 415	Logu Hazırlayan	BAHAR ÖZGÜL
SONDAJ METODU :	ROTARY	Koordinat - Y :	4 226 936	Sondör	MEVLÜT ARSLAN
Başlama Tarihi :	16.04.2019	Koordinat - Z :	....		
Bitiş Tarihi :	16.04.2019				

Sonda Derinliği (m)	Tabaka Derinliği (m)	Numune No	Num. Derinliği (m)	Numune Türü	Zemin Deneyleri					Kayı Özellikleri				Jeolojik Kesit	Zemin Tanımlaması				
					SPT				Standart Penetrasyon Grafiği							Karat Yüzdesi %	RQD %	Ayrışma Derecesi	Çatlak Sıklığı
					Muh. Borusu	Darbe Sayıları													
0-30 metre					15	30	45	N	10	20	30	40	50						
1.00																			
2.00		1	1,50 1,95	SPT		4	3	3	6									KUVATERNER YAŞLI KUMLU SİLT, KUM SİLT KARİŞİMİNDAN OLUŞAN ALÜVYON	
3.00																			
4.00		2	3,00 3,45	SPT		3	3	2	5										
5.00																			
6.00		3	4,50 4,95	SPT		2	1	1	2									KUVATERNER YAŞLI İNORGANİK SİLT VE ÇOK İNCE KUM, SİLTİLİ VEYA KİLLİ İNCE KUM, PLASTİSİTESİ DÜŞÜK KİLLİ SİLT KARİŞİMİNDAN OLUŞAN ALÜVYON	
7.00																			
8.00		4	6,00 6,45	SPT		3	2	1	3										
9.00																			
10.00		5	7,50 7,95	SPT		4	3	3	6										
11.00																			
12.00		6	9,00 9,45	SPT		2	1	1	2										
13.00																			
14.00		7	10,50 10,95	SPT		3	2	3	5									KUVATERNER YAŞLI KUMLU SİLT, KUM SİLT KARİŞİMİNDAN OLUŞAN ALÜVYON	
15.00																			
		8	12,00 12,45	SPT		4	6	7	13										
		9	13,50 13,95	SPT		5	7	5	12										
		10	15,00 15,45	SPT		4	6	7	13									KUVATERNER YAŞLI KİLLİ KUM KUM SİLT KARİŞİMİNDAN OLUŞAN ALÜVYON	

ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT		KAYA NİTELİĞİ - RQD (%)		AYRIŞMA DERECESESİ (W)		ÇATLAK SIKLIĞI	
İnce taneli (Kohesiyonlu)	İri taneli (Kohesiyonsuz)						
N: 0-2 Çok Yumuşak	N: 0-4 Çok Gevşek	0-25 Çok Zayıf		W1 Taze (Ayrışmamış)	<1 Masif		
N: 3-4 Yumuşak	N: 5-10 Gevşek	25-50 Zayıf		W2 Az Ayrışmış	1-3 Az çatlaklı-Kırıklı		
N: 5-8 Orta Katı	N: 11-30 Orta	50-75 Orta		W3 Orta Derecede Ayr.	3-10 Kırıklı		
N: 9-13 Katı	N: 31-50 Sıkı	75-90 İyi		W4 Ayrışmış	10-50 Çok çatlaklı-Kırıklı		
N: 14-30 Çok Katı	N: >50 Çok Sıkı	90-100 Ç.İyi		W5 Tamamen Ayr.	>50 Parçalanmış		
N: 30 Sert							

Şekil EK E.1

AS JEOTEKNİK		AFIŞTIRMA BORDAJ MÜHENDİSLİK		AS JEOTEKNİK SONDAJ LOGU														
PROJE ADI :	HASAN DOĞAN	Kıyı Derinliği :	18.50 metre	SONDAJ NO :	SEK-1													
İLİ :	İZMİR / SEFERİHİSAR	YERALTI SU SEVİYESİ :	1. Okuma : 1.90 metre 2. Okuma : 2.00 metre	SAYFA NO :	2													
YERİ :	1163 ADA, 1 PARSEL	Koordinat - X :	481 216	Logu Hazırlayan	BAHAR ÖZÖĞÜL													
SONDAJ METODU :	ROTARY	Koordinat - Y :	4 226 757	Sondör	MEVLÜT ARSLAN													
Başlama Tarihi :	16.04.2019	Koordinat - Z :	....															
Bitiş Tarihi :	16.04.2019																	
Sonda Derinliği (m)	Tabaka Derinliği (m)	Numune No	Num. Derinliği (m)	Numune Türü	Zemin Deneşleri				Kayı Özellikleri				Jeolojik Kayıt	Zemin Tanımlaması				
					SPT				Standart Penetrasyon Grafiği						Kaest Yırtılması %	RQD %	Ayrışma Derecesi	Çatlak Sıklığı
					Darbe Sayıları													
15	30	45	N	10	20	30	40	50										
16.00	18.00 metre														KUVATERNER YAŞLI KİLİ KUMKUM SİLT KARIŞIMINDAN OLUŞAN ALÜVYON			
17.00		11	16,50 16,95	SPT	12	18	14	24										
18.00		12	18,00 18,45	SPT	16	18	20	38								KUVATERNER YAŞLI PLASTİSİTESİ DÜŞÜK VEYA ORTA İNORGANİK KİL KARIŞIMINDAN OLUŞAN ALÜVYON		
19.00																		
20.00		13	19,50 19,95	SPT	18	20	21	41										
21.00																		
22.00																		
23.00																		
24.00																		
25.00																		
26.00																		
27.00																		
28.00																		
29.00																		
30.00																		
<b>KUYU SONU: 20,00 METRE</b>																		
<b>ZEMİN DEĞERLENDİRMESİ - SPT</b>																		
İnce taneli (Kobaryonlu)				İri taneli (Kobaryonlu)				KAYA NİTELİĞİ - RQD (%)				AYRIŞMA DERESESİ (W)		ÇATLAK SIKLIĞI				
N : 0-2	Çok Yumşak			N : 0-4	Çok Gevrek			0-25	Çok Zayıf			W1	Taze (Ayrışmamış)		<= 1	Manif		
N : 3-4	Yumşak			N : 5-10	Gevrek			25-50	Zayıf			W2	Az Ayrışmış		1-3	Az çatlaklı-Kirikli		
N : 5-8	Orta Katı			N : 11-30	Orta			50-75	Orta			W3	Orta Demecede Ayr.		3-10	Kirikli		
N : 9-13	Katı			N : 31-50	Sıkı			75-90	İyi			W4	Ayrışmış		10-50	Çok çatlaklı-Kirikli		
N : 14-30	Çok Katı			N : >50	Çok Sıkı			90-100	Ç.İyi			W5	Tamamen Ayr.		> 50	Parçalanmış		
N : 30	Sert																	

Şekil EK E.2

Sondaj No Boring No	Numune No Sample No	Derinlik (m) Depth	ÇAKIL / Gravel	KUM / Sand	SILT / Silt	KİL / Clay	Atterberg limitleri Atterberg Limits			W <sub>n</sub>	Y <sub>n</sub>	Y <sub>s</sub>	Sınıflama Classification	Konsolidasyon Consolidations	Zemine Üç Eks.Sıkışma Triaxial Comp.		Zemine Tek Eks.Sıkışma Unconfin. Stren.		Zemine Direkt Kesme Direct Shears		
			(%)	(%)	(%)	(%)	LL	PL	PI						c	Φ	q <sub>u</sub>	c	c	Φ	
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)						(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
SK-1	SPT	15,00-15,45	15,26	47,66	37,08			33,8	16,2	17,6	15,8		SC								
SK-1	SPT	18,00-18,45	0,00	22,83	77,17			42,9	22,1	20,8	25,5		CI								
SK-2	SPT	9,00-9,45	0,00	32,24	67,76			31,6	27,1	4,5	21,8		ML								
SK-2	UD	9,50-10,00	0,00	60,41	39,59			30,7	26,6	4,1	45,7	1,679	1,158	SM					11,73	12,61	
SK-3	SPT	3,00-3,45	0,00	70,36	29,64			32,0	27,7	4,3	24,3		SM								
SK-3	SPT	6,00-6,45	0,00	45,22	54,78			41,4	30,8	10,6	26,0		MI								

Şekil EK E.3

## **EK F.**

89 Ada-140 Parsel'e ait verilerin orijinal belgesi sunulmuştur. Şekil EK F 1-3'te Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen raporlar sunulmuştur.







PROJE TOPLU SONUÇLARI / GLOBAL RESULTS OF PROJECT

Rev. no : 00 Form No : 8 FR-0023

Müşteri Adı Customer's Name	AS JEOTEKNİK ARAŞTIRMA SONDAJ İNŞ. SAN. TİC. LTD.ŞTİ.	Rapor No : Report no	Bakanlık Rapor No : Ministerial Report no
Num.Aldığı Yer Project/Location	89 ada 140 prs. Seferihisar/İZMİR - EFEKAN GÜNEY	Rapor Tarihi Date of Report	12,04,2019

Sondaj No Boring No	Numune No Sample No	Derinlik (m) Depth	ÇAKIL / Gravel		KUM / Sand		SİLİT / Silt		KİL / Clay		Atterberg limitleri Atterberg Limits			W <sub>p</sub>	Y <sub>p</sub>	Y <sub>L</sub>	Sınıflama Classification	Konsolidasyon Consolidations	Zeminde Üç Eks.Sıkışma Triaxial Comp.		Zeminde Tek Eks.Sıkışma Unconfm. Stren.		Zeminde Direkt Kesme Direct Shears		Zeminde Direkt Kesme (Rezidüel gerilme)		Kayada Üç Eks.Sıkışma Triaxial Comp. for Rock		Şişme Basıncı Swell Pressure	Şişme Yüzdesi Swelling Ratio	I <sub>50</sub> (Ort.)				
			(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	LL						PL	PI	c	Ø	q <sub>u</sub>	c	Ø	c'	Ø'	c				Ø	c	Ø	(kg/cm <sup>2</sup> )
1	SK-1	SPT	1,50-1,95	30,79	64,26	4,95					NP			12,2	1,905	1,695	SP																		
2	SK-1	SPT	9,00-9,45	0,00	22,24	77,76	43,9	33,2	10,7	21,7							MI																		
3	SK-1	SPT	15,00-15,45	0,00	5,03	94,97	46,9	34,6	12,3	20,6							MI																		
4	SK-2	SPT	4,50-4,95	0,00	6,36	93,64	43,6	34,6	9,0	24,7							MI																		
5	SK-2	SPT	12,00-12,45	0,00	25,32	74,68	47,0	35,2	11,8	23,5							MI																		
6	SK-3	SPT	6,00-6,45	0,00	27,15	72,85	44,0	33,8	10,2	22,6							MI																		
7	SK-3	SPT	13,50-13,95	24,14	22,42	53,44	48,6	23,5	25,1	23,8							CI																		
8																																			
9																																			
10																																			
11																																			
12																																			
13																																			
14																																			
15																																			
16																																			
17																																			
18																																			
19																																			
20																																			

Şekil EK F.2

## **EK G.**

55 Ada-1 Parsel'e ait verilerin orijinal belgesi sunulmuştur. Şekil EK G 1'de Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen rapor sunulmuştur.

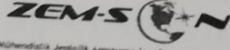


Izmir İli, Seferihisar İlçesi, 55 Ada, 1 Parsel Alanında Yapılacak Olan, Bina ve Bina Türü Yapılar  
için Zemin ve Temel Etüdü Raporu

### 3.LABORATUAR DENEYLERİ VE ANALİZLER

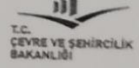
#### 3.1.Kayanın Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

İnceleme alanında yapılan sondajdan alınan numuneler üzerinde, zeminin mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneyler yapılmıştır. Birimden alınan numune üzerinde yapılan laboratuvar deneyi ve sonuçları Ek' te verilmiştir.



Mühendislik Jeolojik Araştırma İnş. San. ve Tic. Ltd. Şti.

ZEM-SON MÜHENDİSLİK JEOLJİK ARAŞTIRMA İNŞ. SAN VE TİC. LTD. ŞTİ.  
BAYRAKLI İZMİR ŞUBESİ ZEMİN LABORATUVARI



Proje Adı		LABORATUAR DENEYLERİ TOPLU SONUÇ RAPOR FORMU																	
Zemin Yapının Kuruluş		ZEMİN TOPLU SONUÇ RAPORU																	
Parsel / Ada / Parsel		ZEMİN TOPLU SONUÇ RAPORU																	
R. Tipi		ZEMİN TOPLU SONUÇ RAPORU																	
Sondaj	Numune	Değer Birim	Değer Birim	Blok Analizi		Asterisk Listeleri				Deney	Deney	Diğer Özellikler		Diğer Özellikler		Diğer Özellikler			
				Y1	Y2	Y1	Y2	Y1	Y2			Y1	Y2	Y1	Y2	Y1	Y2	Y1	Y2
SA-1	1,50-1,95	SPT	17,33	1,80	22,28	14,83	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
SA-1	4,50-4,95	SPT	10,00	2,10	54,5	8,5	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP
SA-2	7,50-7,95	SPT	11,24		46,51	11,63	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP	NP

DENEYİ YAPAN  
**Deniz GÜNGÖR**  
Jeolojik Mühendis  
Ort. Sic. No: 15066



Adres: Manavkuyu Mah.250 Sokak No:3/1F-3/2/G Bayraklı - İzmir  
Tel: 0 850 200 01 23 Fax: 0 232 299 89 33  
e-mail: zem\_son@hotmail.com

DENEYİ ONAYLAYAN  
**Tuncay TİMARÇİ**  
Laboratuvar Müdürü  
Ort. Sic. No: 15718

### 4. MÜHENDİSLİK ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRME

İnceleme alanının yeterli derinlikte, stratigrafisinin çıkarılıp birimlerin jeolojik ve mühendislik jeolojisi özelliklerinin belirlenmesi için Etüt alanında Sk-1: 9,00 m ve Sk-2: 4,50 m olmak üzere iki adet temel sondaj kuyusu açılmıştır. İnceleme alanında yapılan sondajdan alınan numuneler üzerinde, zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneyler yapılmıştır.

#### 4.1.Bina-Zemin İlişkisinin İrdelenmesi

İnceleme alanında yapılan sondajda 1,50 - 1,95 metredeki SPT numunesi üzerinde yapılan direkt kesme deneyine göre taşıma gücü hesabı yapılmıştır.

Şekil EK G 1

## **EK H.**

55 Ada-10 Parsel'e ait verilerin orijinal belgesi sunulmuştur. Şekil EK H 1-2'de Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen raporlar sunulmuştur.



### 3. LABORATUAR DENEYLERİ VE ANALİZLER

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında alınan numuneler laboratuara gönderilmiş ve burada elek analizi, atterberg tayini, su muhtevası tayini deneylerine tabii tutulmuştur. Bu deneyler Arter Mühendislik laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deneyleri ile ilgili kısımlar ekler kısmında verilmiştir.

### 4. MÜHENDİSLİK ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRME

#### **4.1. Bina Zemin İlişkisinin Değerlendirilmesi**

İnceleme alanında 2 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Bu kuyulardan belirli derinliklerinde SPT deneyleri yapılmıştır. Bu derinliklerden alınan numuneler elek, atterberg tayini, su içeriği deneylerine tabii tutulmuştur.

Alınan numunelerin elek analizi sonuçları birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre ufak taneli taşlaşmamış çökeller gözlenmektedir. Laboratuarda yapılan elek analizi sonuçlarına göre birimler ayrılmıştır. Buna göre üst seviyelerde ufak taneli taşlaşmamış çökellerden silt ve kil den oluşan birimler tespit edilmiştir.

Laboratuara verilen numunelerden elde edilen elek analizi ve atterberg limitleri sonuçları aşağıda Tablo.5 te verilmektedir.

KUYU NO	ÖRNEK NO	DERİNLİK (m)	DOĞAL SU İÇERİĞİ Wn(%)	ATTERBERG LİMİTLERİ (%)			ELEK ANALİZİ (%)		BİRLEŞTİRİLMİŞ ZEMİN SINIFLAMASINA GÖRE GRUP SEMBOLÜ
				LL	PL	PI	#10	#200	
SK-1	SPT-1	1,50-1,95	20,5	32,2	15,1	17,1	0,00	73,18	CL

**Tablo.5. Laboratuvar Deney Sonuçları**

İnceleme alanından alınan numunelerin birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre tanımlanması ise;

**CL:** Düşük plastisiteli kil olarak sınıflanmaktadır.

#### **Kıvam Limitlerine Göre Sınıflama**

İnce taneli zeminlerin kıvamlılık indeksine göre sınıflaması yapılacak olur ise; silt ve kil birimlerindeki değerler aşağıda verilmektedir.

$$I_c = (LL - w) / PI$$

Ic : Kıvamlılık İndeksi

LL : Likit Limit

w : Su İçeriği

PI : Plastisite İndeksi

**Şekil EK H.1**

SONDAJ KUYUSU	DERİNLİK (m)	ZEMİN SİMGESİ	KIVAMLILIK İNDEKSİ (Ic)
SK-1	1,50-1,95	CL	0,68

**Tablo.6. İnceleme Alanındaki İnce Taneli Zeminlerin Derinliklere Göre Kıvamlılık İndeksi**

KIVAMLILIK İNDEKSİ (Ic)	TANIM
< 0	Akışkan ( Çamur )
0 – 0.25	Çok Yumuşak
0.25 – 0.50	Yumuşak
0.50 – 0.75	Yarı Sert ( Sıkı )
0.75 – 1.00	Sert
>1.00	Yarı Katı ( Çok Sert )

**Tablo.7. İnce Taneli Zeminlerin Kıvamlılık İndeksine Göre Sınıflandırması**

Yapılan değerlendirmeler sonucunda ince taneli zeminlerin kıvamlılık indeksi için kıvamlılık İndeksi alınan numuneler için **Yarı Sert (Sıkı)** olarak tanımlanmaktadır.

İnceleme alanında yapılan SPT deneyi sonuçları ise aşağıda Tablo.8. te verilmektedir.

KUYU NO	ÖRNEK NO	DERİNLİK (m)	0 - 5 (cm)	15 - 30 (cm)	30 - 45 (cm)	N30
SK-1	SPT-1	1,50-1,95	6	6	9	15
SK-1	SPT-2	3,00-3,45	8	8	8	16
SK-1	SPT-3	4,50-4,95	8	11	11	22
SK-1	SPT-4	6,00-6,45	9	12	12	24
SK-2	SPT-1	1,50-1,95	5	8	8	16
SK-2	SPT-2	3,00-3,45	7	8	9	17
SK-2	SPT-3	4,50-4,95	9	9	12	21
SK-2	SPT-4	6,00-6,45	11	10	15	25

**Tablo.8. SPT Deney Sonuçları**

Yapılan hesaplamalarda ortalama N30 değeri kullanılmıştır.

Darbe sayısı **N<sub>30</sub> = 20**

İnceleme alanında gözlemlenen birimlerin genel olarak kohezyonlu zeminlerden oluşması itibari ile Kumbasar ve Skempton'un kohezyonlu zeminler için önerdiği formüllerinden hesaplamalar yapılmıştır. Formüller aşağıda verilmektedir.

## Şekil EK H.2

## **EK I.**

97 Ada-28 Parsel'e ait verilerin orijinal belgesi sunulmuştur. Şekil EK I 1'de Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen raporlar sunulmuştur.



### 3.LABORATUAR DENEYLERİ VE ANALİZLER

#### 3.1.Kayanın Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

İnceleme alanında yapılan sondajdan alınan numuneler üzerinde, zeminin mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneyler yapılmıştır. Birimden alınan numune üzerinde yapılan laboratuvar deneyi ve sonuçları Ek' te verilmiştir.

### 4. MÜHENDİSLİK ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRME

İnceleme alanının yeterli derinlikte, stratigrafisinin çıkarılıp birimlerin jeolojik ve mühendislik jeolojisi özelliklerinin belirlenmesi için Etüt alanında Sk-1: 6,00 m ve Sk-2: 4,50 m olmak üzere iki adet temel sondaj kuyusu açılmıştır. İnceleme alanında yapılan sondajdan alınan numuneler üzerinde, zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneyler yapılmıştır.

#### 4.1.Bina-Zemin İlişkisinin İrdelenmesi

Sk-1: 1,50-3,00 m, arasından alınan KAROT numunesi üzerinde yapılan deney sonucuna göre;

Arazide yapılan sondajda elde edilen numuneler üzerinde yapılan zemin sınıflaması deneylerine göre **orta sıkı** özellikli ( $D_r \sim 60$ ) olan etüt alanındaki temeli oluşturan **G<sub>1</sub>** sınıfı zeminin mukavemet açısı ( $\theta$ ) **Tablo-2** den bakıldığında , en fazla ( $\theta$ ) =  $25-35^0$  derecedir. kayma mukavemet açısının ( $\theta$ ) =  $35^0$  olarak alınması uygun olacaktır.

Zemin Cinsi	Birim Ağırlığı ( $t/m^3$ )	İç Sürtünme Açısı ( $\varphi^0$ )
İnce kum ve çakıl (%5'ten az siltli)	1,8-1,9	30-40
İri kum ve çakıl (%5'ten az siltli)	1,8-2,0	35-40
<b>Siltle karışık kum yada çakıl</b>	<b>1,8-2,0</b>	<b>25-35</b>
Siltli kum, çok killi kum yada çakıl	1,8-2,0	23-30

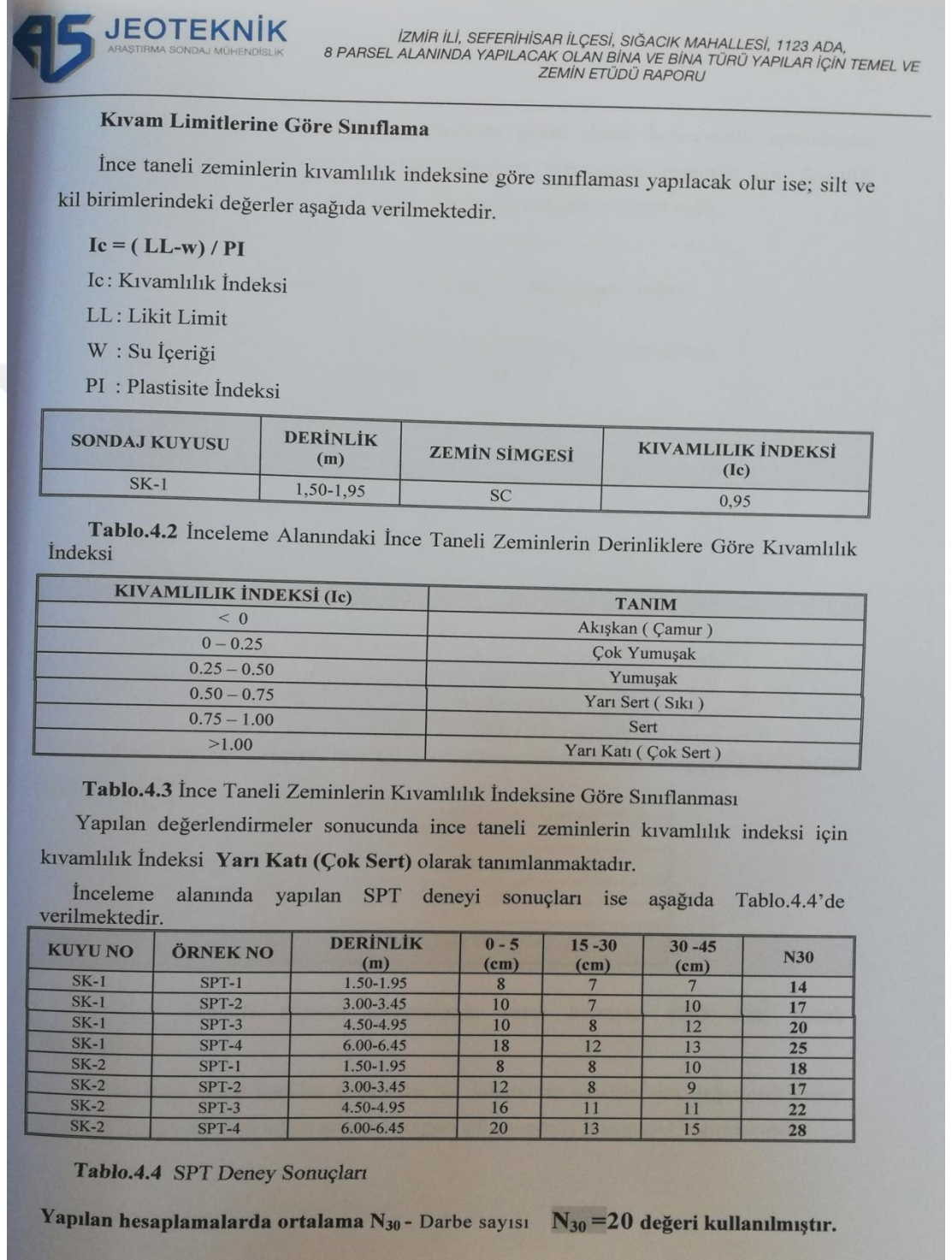
Zem-Son Mühendislik Jeolojik Araştırma İnş.San.Tic.Ltd.Şti.  
Manavkuyu Mah. 240 Sokak Alperen Apt. No:5 Daire:1 Bayraklı/ İzmir  
Tel: 0232 342 99 53 – Fax: 0232 342 45 03 – Gsm:0532 622 86 80 – E-mail: zem\_son@hotmail.com

Şekil EK I.1



## EK J.

1123 Ada-8 Parsel'e ait verilerin orijinal belgesi sunulmuştur. Şekil EK J 1-4'te Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen raporlar sunulmuştur.



Şekil EK J.1

**Yapılan jeoteknik hesaplamalar sonucunda;**

Zemin grubu	C
Yerel zemin sınıfı	Z <sub>4</sub>
Etkin yer ivme katsayısı A(0)	0,40
Spektral ivme katsayısı A(T)	1,00
Bina önem katsayısı I	1,00
Spekturum katsayısı S(T)	2,50
Spektrum karakteristik periyotları	T <sub>A</sub> = 0.20 ve T <sub>B</sub> =0.90
Yatak Katsayısı	2808 t / m <sup>3</sup>

Hesaplamalar ve sınıflamalar ile ilgili bilgiler Tablo.4.7 Tablo.4.8 Tablo.4.9 ve Tablo.4.10'da verilmektedir.

**4.2.Sıvılaşma Riskinin Değerlendirilmesi**

Deprem sırasında tekrarlı yükler gevşek kumlarda hacim azalmasına yola açar ve yükün kalkmasından sonra birim kısalmalar sıfıra dönmede yeniden yüklenir. Böylece suyun drene olmaması ve hacim azalması sonucunda boşluk suyu basınçlarında artışlar meydana gelir. Boşluk suyu basıncı artarak toplam gerilmeye eşit ya da fazla olur bu durumda zemin kayma direncini yitirir. Bu olay sıvılaşma olarak adlandırılır.

Bray ve diğerlerinin 2004 yılında yaptığı çalışmalar ile gerçekleştirmiş olduğu kriterlere göre;

$$I_p = W_n / LL;$$

- $I_p > 0.9$  ( sıvılaşabilir )
- $0.8 < I_p < 0.9$  ( ara durum )
- $I_p < 0.8$  (sıvılaşmaz )

Sondaj No	Derinlik (m)	I <sub>p</sub>	Durum
SK-1	1,50-1,95	0,52	Sıvılaşmaz

**4.3.Oturma**

Temel aracılığı ile zemine aktarılan yapı yükleri altında zeminde meydana gelen düşey deformasyonlara oturma denilir. Oturma, yapı yükünden dolayı temel tabanındaki zemin içinde bulunan havanın ve boşluklardaki suyun dışarı çıkması sonucu oluşur. İnce taneli

**Şekil EK J.2**

7) Parsel alanında 1 adet sismik kırılma çalışması yapılmıştır. Çalışmaya ait bilgiler, değerlendirmeler "2.4. Jeofizik Çalışmalar" başlığı altında ayrıntılı olarak verilmiştir. Etüt alanında yapılan Jeofizik yöntemlerden elde edilen arazi verileri bilgisayar yardımıyla değerlendirilip jeofizik modeller oluşturulmuştur. Çalışma alanında doğrultuları ekte verilen şekilde profil uzunluğu 26,0 m., jeofon aralıkları 2,0 m. , ofset aralığı 2,00 m. olarak seçilen 1 adet sismik kırılma ölçüleri alınmıştır.

8) Sismik serim çalışması sonucunda;

- Birinci tabakanın ortalama kalınlığı yaklaşık 1,60 m. dir.
- Birinci tabakaya ait elde edilen  $V_{p1}$  hızı 347.00 m/sn.,  $V_{s1}$  hızı 121.00 m/sn.
- İkinci tabakaya ait elde edilen  $V_{p2}$  hızı 1401,00 m/sn.,  $V_{s2}$  hızı 278.00 m/sn.

9) Laboratuar sonuçlarına göre, çalışma alanında yapılan SK-1 nolu sondaj kuyusunda 1,50-1,95 metreler arasından alınan numune killi kumlardan oluşmaktadır. "SC" olarak sınıflanmaktadır.

10) Bina temel alt kotu -0,60 metre ve temel derinliği 0,60 metre için statik projeye esas zemin parametreleri aşağıda yer almaktadır.

Zeminin emniyetli taşıma gücü	$q_{em} = 1,17 \text{ kg/cm}^2$
Zemin Grubu	C
Yerel zemin sınıfı	Z <sub>4</sub>
Etkin yer ivme katsayısı	A <sub>0</sub> =0,40
Bina önem katsayısı	I=1,0 (konut)
Spektrum karakteristik periyotları	T <sub>a</sub> (S)=0,20 T <sub>b</sub> (S)=0,90
Zemin Hakim Titreşim Periyodu (T <sub>0</sub> )	75
Zemin Büyütmesi ( Midorikawa )	2,336
Zemin Yatak Katsayısı	$k_s = 2808 \text{ t/m}^3$

11) Yapılan değerlendirmelerde inceleme alanında sıvılaşma tehlikesi beklenmemektedir.

12) Yapılan hesaplama sonucunda yapının yıllık oturma değeri  $S = 1,72 \text{ cm}$ 'dir. İzin verilen oturma değerleri arasında kalmaktadır. İnceleme alanındaki zemin türü için şişme potansiyeli düşük seviyededir. Ancak temelin oturacağı alanda zeminde olası % 10 arasında hacim değişikliği (Tahmini şişme) meydana gelebilir. Şişme potansiyeli düşük olsa da, zemin bünyesinde su içeriğinden yapılması planlanan yapının temeline olası su girişinin engellenmesi temel emniyeti açısından gereklidir.

13) İnceleme alanında eğim gözlenmemektedir.

**Şekil EK J.3**

### 3. LABORATUVAR DENEYLERİ VE ANALİZLER

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında alınan karot numuneler Jeolab Zemin laboratuvarına gönderilmiş ve burada elek analizi, atterberg tayini, su muhtevası tayini deneylerine tabii tutulmuştur. Bu deney Jeolab Zemin laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deneyleri ile ilgili kısımlar ekler kısmında verilmiştir.

### 4. DEĞERLENDİRME

#### 4.1. Bina Zemin İlişkisinin Değerlendirilmesi

İnceleme alanında 2 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Bu kuyulardan belirli derinliklerinden karotiyer yardımı ile karot numuneler alınmıştır. Bu derinliklerden alınan numuneler elek, atterberg tayini, su içeriği, kesme kutusu ve nokta yükleme deneylerine tabii tutulmuştur.

Alınan numunelerin elek analizi sonuçları birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre ufak taneli taşlaşmamış çökeller gözlenmektedir. Laboratuvarda yapılan elek analizi sonuçlarına göre birimler ayırtlanmıştır. Buna göre ufak taneli taşlaşmamış çökellerden çakıl ve kumdan oluşan birimler tespit edilmiştir.

Laboratuvara verilen numunelerden elde edilen elek analizi ve atterberg limitleri sonuçları aşağıda Tablo.4.1' de verilmektedir.

KUYU NO	NUMUNE	DERİNLİK (m)	ÇAKIL (%)	KUM (%)	SİLT-KİL (%)	DOĞAL SU İÇERİĞİ W <sub>n</sub> (%)	ATTERBERG LİMİTLERİ (%)			SINIFLAMA
							LL	PL	PI	
SK-1	SPT	1,50-1,95	31,61	48,67	19,72	13,3	25,6	12,5	13,1	SC

**Tablo-4.1.** Laboratuvar Deney Sonuçları

İnceleme alanından alınan numunelerin birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre tanımlanması ise;

SC : Killi kum karışımı olarak sınıflanmaktadır.

### Şekil EK J.4

## EK K.

1163 Ada-8 Parsel'e ait verilerin orijinal belgesi sunulmuştur. Şekil EK K 1'de Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen raporlar sunulmuştur.

### İZMİR İLİ, SEFERİHİSAR İLÇESİ, SIĞACIK MAHALLESİ, 30L-4B PAFTA, 1163 ADA, 8 PARSEL ALANINDA YAPILACAK OLAN, BİNA VE BİNA TÜRÜ YAPILAR İÇİN ZEMİN VE TEMEL ETÜDÜ RAPORU

#### 3.LABORATUVAR DENEYLERİ VE ANALİZLER

Parsel alanında 13.01.2016 tarihinde Sk-1: 15,50m olmak üzere bir adet temel sondaj kuyusundan açılmıştır. Birimlerden alınan numuneler üzerinde yapılan laboratuvar deneyi ve sonuçları Ek' te verilmiştir.

##### 3.1. Zeminin İndeks/Fiziksel Özelliklerinin Belirlenmesi

Açılan sondajdan alınan numuneler üzerinde, zeminin indeks/fiziksel özelliklerinin belirlenmesine yönelik doğal su içeriği, doğal birim hacim ağırlık, elek analizi ve atterberg limitleri deneyleri yapılmıştır.

Sondajın	Numunenin		Doğal Su İçeriği (%)	Lab. Sığdırılmış B. Hacim Ağı (g/cm <sup>3</sup> )	Elek Analizi		Atterberg Limitleri			Zemin Sınıfı
	Kuyu No:	Derinlik (m)			Numune Türü	#10 Kalan (%)	#200 Geçen (%)	LL (%)	PL (%)	
SK-1	1,50-1,95	SPT	19.04	1.78	28.03	19.42		NP		SM
SK-1	4,50-4,95	SPT	32.15		8.06	81.76	54	22	32	CH
SK-1	9,00-9,45	SPT	30.71		2.63	90.98	58	24	34	CH

##### 3.2. Zeminin Mekanik Özelliklerinin Belirlenmesi

Açılan sondajdan alınan numuneler üzerinde, zeminin mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik direkt kesme deneyleri yapılmıştır.

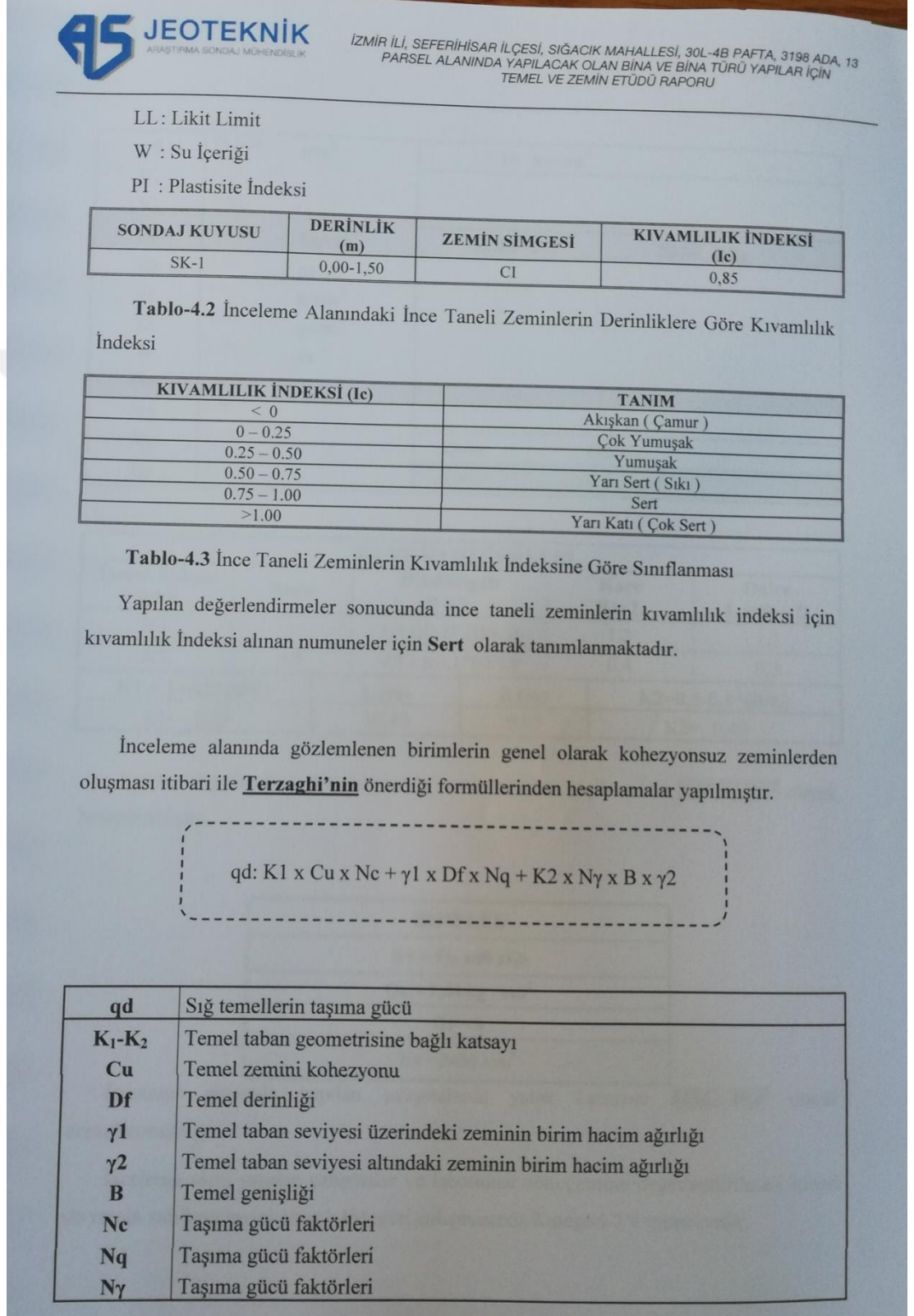
Sondajın	Numunenin		Direkt Kesme	
	Kuyu No:	Derinlik (m)	Numune Türü	İçsel sürtünme açısı
SK-1	1,50-1,95	SPT	0,09	25

#### 4. MÜHENDİSLİK ANALİZLERİ VE DEĞERLENDİRME

İnceleme alanının yeterli derinlikte, stratigrafisinin çıkarılıp birimlerin jeolojik ve mühendislik jeolojisi özelliklerinin belirlenmesi için parsel alanında 13.01.2016 tarihinde Sk-1: 15,50m olmak üzere bir adet temel sondaj kuyusundan açılmıştır. İnceleme alanı için açılan sondajdan alınan numuneler üzerinde, zeminin fiziksel ve mekanik özelliklerinin belirlenmesine yönelik deneyler yapılmıştır.

## EK L.

3198 Ada-13 Parsel'e ait verilerin orijinal belgesi sunulmuştur. Şekil EK L 1-3'te Seferihisar Belediyesi'nden elde edilen raporlar sunulmuştur.



Şekil EK L.1

**Yapılan jeoteknik hesaplamalar sonucunda;**

Zemin grubu	C
Yerel zemin sınıfı	Z <sub>2</sub>
Etkin yer ivme katsayısı A(0)	0,40
Spektral ivme katsayısı A(T)	1,00
Bina önem katsayısı I	1,00
Spektrum katsayısı S(T)	2,50
Spektrum karakteristik periyotları	T <sub>A</sub> = 0.15 ve T <sub>B</sub> =0.40
Yatak Katsayısı	3456 t / m <sup>3</sup>

Hesaplamalar ve sınıflamalar ile ilgili bilgiler Tablo.4.7 Tablo.4.8 Tablo.4.9 ve Tablo.4.10'da verilmektedir.

**4.2.Sıvılaşma Riskinin Değerlendirilmesi**

Deprem sırasında tekrarlı yükler gevşek kumlarda hacim azalmasına yola açar ve yükün kalkmasından sonra birim kısaltmalar sifira dönmede yeniden yüklenir. Böylece suyun drene olmaması ve hacim azalması sonucunda boşluk suyu basınçlarında artışlar meydana gelir. Boşluk suyu basıncı artarak toplam gerilmeye eşit ya da fazla olur bu durumda zemin kayma direncini yitirir. Bu olay sıvılaşma olarak adlandırılır.

Bray ve diğerlerinin 2004 yılında yaptığı çalışmalar ile gerçekleştirmiş olduğu kriterlere göre;

$$I_p = W_n / LL;$$

- $I_p > 0.9$  ( sıvılaşabilir )
- $0.8 < I_p < 0.9$  ( ara durum )
- $I_p < 0.8$  ( sıvılaşmaz )

Sondaj No	Derinlik (m)	I <sub>p</sub>	Durum
SK-1	0.00-1.50	0.49	Sıvılaşmaz

**Şekil EK L.2**

### 3. LABORATUVAR DENEYLERİ VE ANALİZLER

İnceleme alanında yapılan sondaj çalışmalarında alınan karot numuneler Jeolab Zemin laboratuvarına gönderilmiş ve burada elek analizi, atterberg tayini, su muhtevası tayini deneylerine tabii tutulmuştur. Bu deney Jeolab Zemin laboratuvarında gerçekleştirilmiştir. Laboratuvar deneyleri ile ilgili kısımlar ekler kısmında verilmiştir.

### 4. DEĞERLENDİRME

#### 4.1. Bina Zemin İlişkinin Değerlendirilmesi

İnceleme alanında 2 adet sondaj kuyusu açılmıştır. Bu kuyulardan belirli derinliklerinden SPT ile numuneler alınmıştır. Bu derinliklerden alınan numuneler elek, atterberg tayini, su içeriği deneylerine tabii tutulmuştur.

Alınan numunelerin elek analizi sonuçları birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre ufak taneli taşlaşmamış çökeller gözlenmektedir. Laboratuvarda yapılan elek analizi sonuçlarına göre birimler ayırtlanmıştır. Buna göre ufak taneli taşlaşmamış çökellerden çakıl ve kumdan oluşan birimler tespit edilmiştir.

Laboratuvara verilen numunelerden elde edilen elek analizi ve atterberg limitleri sonuçları aşağıda Tablo.4.1' de verilmektedir.

KUYU NO	NUMUNE	DERİNLİK (m)	ÇAKIL (%)	KUM (%)	SİLT-KİL (%)	DOĞAL SU İÇERİĞİ W <sub>n</sub> (%)	ATTERBERG LİMITLERİ (%)			SINIFLAMA	ZEMİNDE DİREKT KESME		Y <sub>n</sub>	Y <sub>k</sub>	I <sub>s50</sub> (ort.)
							LL	PL	PI		C kpa	φ °			
SK-1	karot	0,00-1,50	32,07	13,61	54,32	19,9	40,3	16,4	23,9	CI	52,82	10,61	1,933	1,603	5,18

**Tablo-4.1.** Laboratuvar Deney Sonuçları

İnceleme alanından alınan numunelerin birleştirilmiş zemin sınıflamasına göre tanımlanması ise;

CI : Orta Plastisiteli Kil olarak sınıflanmaktadır.

#### Kıvam Limitlerine Göre Sınıflama

İnce taneli zeminlerin kıvamlilik indeksine göre sınıflaması yapılacak olur ise; silt ve kil birimlerindeki değerler aşağıda verilmektedir.

$$I_c = (LL-w) / PI$$

I<sub>c</sub>: Kıvamlilik İndeksi

### Şekil EK L.3



## ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Ezgi AKBUĞA  
Doğum Yeri ve Yılı : Enez, 1991  
Medeni Hali : Evli  
Yabancı Dili : İngilizce  
E-posta : sarikayaezgi@gmail.com

### Eğitim Durumu

Lise : Seferihisar Anadolu Lisesi, 2009  
Lisans : Balıkesir Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği Bölümü, 2014  
Yüksek Lisans : Manisa Celal Bayar Üniversitesi, İnşaat Mühendisliği  
Anabilim dalı, Geoteknik Bilim Dalı, 2019

### Yayınlar

Durukan S., Akbuğa E. Yeni Türkiye Bina Deprem Yönetmeliğine Göre Sığacık (Seferihisar / İzmir) Sıvılaşma Riskinin Araştırılması. *ERASMUS International Academic Research Symposium on Science, Engineering and Architecture Sciences*, 5-6 Nisan 2019, İzmir.

### Projeler

TÜBİTAK Projesi: 115Y065 nolu Alaşehir alt havzası (Gediz Havzası) yeraltı suyu besleniminin akifer bazlı izlenmesi, CBS tabanlı alansal yeraltı suyu beslenme haritasının oluşturulması isimli projede **bursiyer**.

### Mesleki Deneyim

Yapı Denetim-Kontrol Mühendisliği	2014-2015
Kurucusu olduğu Aderans Mühendislik Ltd.Şti.'nde Proje Müdürlüğü ve Proje Mühendisliği	2015-2017
Ahmet Güney Mimarlık	2018-Halen